

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Hornicko-geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

Odvodnění kalů z průmyslové čistírny odpadních vod ČEZ

Energetické služby

Dewatering of sludge from industrial wastewater treatment plant ČEZ

Energy Service

Bakalářská práce

Student:

Daniel Krucina

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Thomas, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Krucina**
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 2102R006 Technologie a hospodaření s vodou
Téma: Odvodnění kalů z průmyslové čistírny odpadních vod ČEZ Energetické služby
Dewatering of sludge from industrial wastewater treatment plant ČEZ Energy Service

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Filtrace v úpravě vody
3. Posouzení současného stavu úpravy kalů čistírny odpadních vod ES
4. Vyhodnocení účinnosti odvodňování kalů filtrací
5. Závěr

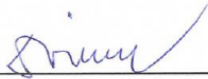
Seznam doporučené odborné literatury:
Dle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Thomas, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014


prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu




prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

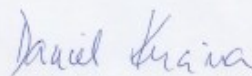
Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution - NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne: 25. 04. 2014

Daniel Krucina



ABSTRAKT

V teoretické části bakalářské práce jsem se zaměřil na průmyslové odpadní vody, jejich způsobů čištění a filtraci. Nedílnou součástí je také kapitola o charakteristice, složení a vlastnostech kalů a jejich odvodnění.

Praktická část této práce je zaměřena na Ústřední čistírnu odpadních vod ČEZ Energetické služby s.r.o., stručně je popsán účel a funkce čistírny a technologické schéma dehydratační linky ústřední čistírny odpadních vod a kalové hospodářství, které provozuje společnost ČEZ Energetické služby, s.r.o. Během procesu čištění OV vzniká čistírenský kal, jehož odvodněním se tato práce zabývá.

Klíčová slova:

Čistírna odpadních vod, kalové hospodářství, nakládání s kaly, odvodnění kalů.

ABSTRACT

This Bc work deals with industrial wastewater treatment. A part of this work deals with sludge characteristics, their composition and properties and dewatering of sludge.

Practical part pays an attention to wastewater treatment plant of CEZ, Energetické služby sro. Briefly is described aim of treatment plant and its technological scheme of dewatering process. This work pays an attention to some details of dewatering of processed sludge.

Key words:

Wastewater treatment plant, sludge treatment, sludge dewatering.

Obsah

ÚVOD.....	1
1 ODPADNÍ VODY	3
1.1 Charakteristika průmyslových odpadních vod.....	3
1.2 Charakter znečišťujících látek v odpadních vodách	4
1.3 Odpadní vody z jednotlivých průmyslových odvětví.....	5
1.4 Základní procesy v úpravě a čištění odpadních vod.....	8
1.4.1. Procesy používané v technologii čištění odpadních vod.....	8
1.5 Schéma možného uspořádání průmyslových čistíren odpadních vod	9
1.6 Nakládání s vyčištěnými odpadními vodami.....	10
2 FILTRACE V ÚPRAVĚ VODY	11
2.1 Filtrace vrstvou zrnitého materiálu	11
2.2 Filtrace přes filtrační přepážku	12
3 ČISTÍRENSKÉ KALY.....	16
3.1 Charakteristika čistírenských kalů	16
3.2 Složení kalů.....	17
3.3 Zpracování kalů	17
3.3.1 Odvodnění kalů	18
3.3.2 Předúprava čistírenských kalů.....	20
3.3.3 Porovnání odstředivky, kalolisu a sítopásového lisu	21
3.4 Nakládání s kaly	22
3.4.1 Produkce odpadů v České republice	24
3.4.2 Nakládání s kaly v EU.....	25
4 ÚSTŘEDNÍ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD ČEZ ENERGETICKÉ SLUŽBY, S.R.O. OSTRAVA.....	27
4.1 Účel a cíl ÚČOV ČEZ ES s.r.o.....	27
4.2 Stručný popis a funkce ústřední čistírny odpadních vod	28

4.2.1 Hlavní části.....	28
4.2.2 Povolené limity pro vypouštění odpadních vod do recipientu	28
4.3 Popis a schéma zařízení.....	29
5 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ A DEHYDRATACE KALŮ NA ÚSTŘEDNÍ ČISTÍRNĚ ODPADNÍCH VOD ČEZ ES S.R.O.	32
5.1 Popis zařízení dehydratační linky	34
5.1.1 Stahování kalu z usazovacích nádrží.....	34
5.1.2 Čerpání kalů, do zahušťovací nádrže N2	34
5.1.3 Kalová nádrž N3	35
5.1.4 Dávkování flokulantu a jeho vlastnosti	35
5.2 Kalová koncovka	35
5.2.1 Odstředivka	36
5.2.3 Zásobník na odvodněný kal	38
5.3 Přehled odpadů, které vznikají v rámci čištění průmyslových odpadních vod na ÚČOV ČEZ ES:	38
5.3.1 Teoretické vstupní a výstupní parametry kalu	38
5.3.2. Složení produkovaného kalu	39
5.4 Vyhodnocení a návrh opatření	40
ZÁVĚR	44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	46
INTERNETOVÉ ZDROJE.....	47
INTERNÍ ZDROJE	47

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Janu Thomasovi, Ph.D. za vstřícnost, inspirativní přístup a cenné připomínky, které mi poskytl v průběhu vypracování této práce.

Rovněž chci poděkovat svému konzultantce paní Zdeňce Polachové za čas a praktické rady, které mi poskytla při tvorbě této práce, stejně jako nezbytné relevantní materiály.

Seznam zkratek

ČEZ	České Energetické Závody
ES	Energetické služby
OV	Odpadní vody
EO	Ekvivalentních obyvatel
ČOV	Čistírna odpadních vod
ÚČOV	Ústřední čistírna odpadních vod
TŽ	Třinecké železářny
NEL	Nepolární extrahovatelné látky
BSK ₅	Biochemická spotřeba kyslíku
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
Ca (OH) ₂	Hydroxid vápenatý
CaO	Oxid vápenatý
RL	Rozpuštěné látky
NL	Nerozpuštěné látky
Fe celk.	Celkové železo
NH ₄ ⁺	Amonné kationty
SO ₄ ²⁻	Sírany
Cl ⁻	Chloridy
CN ⁻	Kyanidy
C 10 – C 40	Uhlovodíky
RAS	Rozpuštěné anorganické soli

Úvod

V dnešní době, je problematika likvidace čistírenského kalu, který je jeden z konečných produktů procesu čištění odpadních vod, velice diskutovaným tématem. Z toho důvodu jsem si vybral toto aktuální téma pro svoji bakalářskou práci. Má práce pojednává zejména o vzniku a způsobu odvodnění kalů z úpravy průmyslové odpadní vody na Ústřední čistírně odpadních vod ČEZ energetické služby s.r.o. (ÚČOV).

Kal je materiál, který nevyhnutelně vzniká při čištění odpadních vod na všech čistírnách odpadních vod. Množství produkováných kalů závisí především na typu kanalizační sítě a na použité technologii čištění odpadních vod. Platí, že každý je při své činnosti povinen především předcházet vzniku odpadů, a pokud jejich vzniku nelze zabránit, je povinen minimalizovat jejich množství a nebezpečné vlastnosti, dle zákona [185/2001 Sb. zákon o odpadech, § 10].

Toto téma je také aktuální i z důvodu vývoje legislativy Evropské unie, podle které je ukládání kalů na skládku potlačováno a jsou prosazovány dva hlavní směry konečného využití nebo likvidace kalů. Přednostní využití likvidace kalů je směřována do oblasti zemědělství. Další využití pro likvidaci kalů, za splnění řady podmínek je spalování nebo jiné termické zpracování.

Odpadová politika Evropské unie potlačuje ukládání odpadů a podporuje zabránění vzniku odpadů, jejich minimalizací a recyklací. Ukládání kalů na skládky, které je pro některé kaly v Evropě hlavním výstupem, je obecně považováno za neudržitelné. Produkci kalů nelze zabránit (pouze lze výběrem technologie zmenšit jeho množství), navíc požadavky na vyšší kvalitu vypouštěné vody budou dále obecně zvyšovat množství produkováných kalů. Jediné zbývající možnosti jsou recyklace a destrukční metody. Možnosti recyklace zahrnují použití na půdu jako organické hnojivo nebo pro vylepšení kvality půdy v zemědělství a pro rekultivace. Destrukční metody zahrnují spalování bez nebo s využitím energie, zplynování a použití kalu jako procesního paliva, kdy je využíván nebo skládkován popel.[1]

Hlavním cílem práce je stručné popsání historie, a současnosti odvodňování kalu na ÚČOV. Práce je rozdělena do pěti kapitol. V první kapitole jsou stručně popsány odpadní vody, jejich vznik, rozdělení a základní způsoby úpravy a nakládání s nimi. V druhé kapitole jsou popsány možnosti filtrace odpadních vod, třetí kapitola je zaměřena na

čistírenské kaly a způsoby jejich odvodnění. Ve čtvrté kapitole je popsáno technologické schéma ÚČOV. V poslední kapitole je popsána linka dehydratace kalu, stručně minulost odvodňování kalu na ÚČOV a srovnání se současností.

1 Odpadní vody

Vody rozlišujeme podle původu, výskytu a způsobu použití. Podle původu rozdělujeme vody na přírodní a odpadní. Podle výskytu přírodní vody rozdělujeme na atmosférické, povrchové a podzemní. Odpadní vody se dělí na splaškové (vody z domácností, stravování, hygienických zařízení...), městské odpadní vody (jsou směsí splašků, průmyslových odpadních vod a např. vody dešťové...) a průmyslové (vody použité a znečištěné během výrobního procesu). Podle způsobu použití rozdělujeme vody na pitnou, užitkovou, provozní a odpadní vodu.

Odpadní vody dle zákona č. 254/2001 Sb. § 38 odst. 1 jsou definovány následovně. „Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody z odkališť, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních, a dále jsou odpadními vodami průsakové vody ze skládek odpadu.“[2]

1.1 Charakteristika průmyslových odpadních vod

Pod pojem „Průmyslové odpadní vody“ zahrnujeme různorodou skupinu odpadních vod. Průmyslová odpadní voda vzniká v průmyslových podnicích, její složení a množství závisí na druhu činnosti průmyslového podniku, použité technologii výroby a systému vodního hospodářství každého jednotlivého podniku. Průmysl produkuje odpadní vody z vod technologických a vod chladících (technologická voda – voda přímo použitá ve výrobě, chladicí voda – voda používaná v chladících zařízeních, tato bývá znečištěna převážně tepelně). Charakteristickým rysem průmyslových odpadních vod je kolísání koncentrací a objemů v krátkodobých časových úsecích, v dlouhodobém časovém úseku se jedná o vody proměnlivé – v závislosti na vývoji výrobní a čistírenské technologie se mění i složení a množství vznikající odpadní vody.[3]

Ve většině průmyslových odvětví vzniká několik proudů odpadních vod lišících se svými vlastnostmi. Tyto vody můžeme rozdělit do několika skupin:

- *Technologické vody* – obvykle obsahují hlavní podíl znečištění, vznikají tam, kde se voda dostává do kontaktu se surovinami a produkty v průběhu výrobního procesu. Mezi tyto vody lze řadit i vody z mytí a čištění technologických zařízení, přepravních kontejnerů apod.[3]
- *Chladicí vody* – v řadě výrobních procesů se voda používá jako chladicí médium. Hlavním znečištěním bývá zvýšená teplota a v některých typech chladicích vod lze najít přítomnost pomocných látek (biocidy, inhibitory koroze, ...).[3]
- *Srážkové vody z areálu podniku* – v případě těchto vod je nutné dbát na jejich důsledné dělení na vody nekontaminované a kontaminované. Nekontaminované srážkové vody by měly být odváděny mimo čistírnu odpadních vod, aby nezvyšovaly její hydraulické zatížení. Vody kontaminované vznikají kontaktem s látkami, které ohrožují jakost vod (např. ropné látky). Takové vody je potřeba před jejich vypouštěním podrobit vhodnému způsobu čištění.[3]
- *Podzemní vody z hydrogeologické ochrany* – zejména chemické a petrochemické podniky bývají vybaveny systémy tzv. hydrogeologické ochrany, které brání šíření znečištění podzemních vod z území daného podniku do okolí.[3]
- *Splaškové vody* – vznikají v umývárkách, sociálních zařízeních a jídelnách podniků. Složením jde o typické splaškové vody, dobře biologicky čistitelné.[3]

1.2 Charakter znečišťujících látek v odpadních vodách

Průmyslové odpadní vody se obvykle dělí podle znečišťujících látek na převážně anorganicky znečištěné a převážně organicky znečištěné. Kromě těchto existují přechodné typy, u nichž je významné organické i anorganické znečištění.

– **Převážně anorganicky znečištěné odpadní vody**

- *Odpadní vody převážně anorganicky znečištěné nerozpuštěnými látkami* (odpadní vody z praní uhlí, z keramického a sklářského průmyslu apod.)
- *Odpadní vody převážně anorganicky znečištěné netoxickými rozpuštěnými látkami* (odpadní vody z výroby draselných, fosforečných a dusíkatých hnojiv, z moření železa, z výroby sody apod.)
- *Odpadní vody převážně anorganicky znečištěné toxickými rozpuštěnými látkami* (vody z povrchové úpravy kovů, radioaktivní vody apod.)

Čištění těchto vod se provádí fyzikálně – chemickými a chemickými způsoby, biologické čištění je bezpředmětné.

– **Převážně organicky znečištěné odpadní vody**

- *Netoxické a biologicky rozložitelné látky* (sacharidy, bílkoviny, tuky aj.)
- *Netoxické a obtížně biologicky rozložitelné látky* (alifatické a aromatické sloučeniny, vysokomolekulární polyglykoly, některá organická barviva aj.)
- *Toxické a biologicky rozložitelné látky* (fenoly, organofosforové insekticidy, chlorfenoly, nitrofenoly aj.)
- *Toxické a biologicky obtížně rozložitelné látky* (chlorované uhlovodíky, nitroaniliny, některé kationtové tensidy aj.)

U těchto vod přichází v úvahu buď biologické čištění na samostatné čistírně odpadních vod, nebo společné čištění se splaškovými vodami na městské čistírně odpadních vod.[7]

V odpadních vodách se především stanovují:

- celkové množství, rozpuštěných a nerozpuštěných látek,
- neutralizační kapacita a pH,
- obsah dusíku a fosforu,
- CHSK,
- BSK₅.

1.3 Odpadní vody z jednotlivých průmyslových odvětví

Průmysl zpracování ropy

Ropa představuje stálé nebezpečí pro hydrosféru. Ropa a její složky jsou ve vodě velmi málo rozpustné, ale přesto znehodnocují vodu především intenzivním zápachem a odpornou chutí, i když toxické koncentrace zdaleka nebylo dosaženo. Olejový film na hladině vody znemožňuje pronikání kyslíku do vody se všemi důsledky pro vodní život.

Těžba a zpracování radioaktivních materiálů

Velkým nebezpečím pro hydrosféru se dnes jeví těžba uranu a částečně i jeho zpracování. Nebezpečnost vod z těžby a úpravy uranových rud spočívá zejména v tom, že obsahují izotopy s velice dlouhým poločasem rozpadu, podle způsobu těžby a zpracování se k těmto látkám přidávají ještě další, jako zbytky kyselin a různé anorganické rozpustné soli.

Výroba buničiny a papíru

Tyto provozy patří mezi největší znečišťovatele povrchových vod množstvím odpadních vod (dle způsobu výroby buničiny 300 – 500 m³ na tunu výrobku) i jejich obsahem anorganických i organických látek.[4] Odpadní vody z výroby papíru a papíroviny obsahují vysoké koncentrace nerozpuštěných a organických látek, které se dostávají do vody při zpracování dřeva, sekundární čištění je realizováno v provzdušňovaných lagunách, odtok z lagun obsahuje nízké koncentrace organických látek, které jsou obtížně rozložitelné.[5]

Těžba uhlí

Toto odvětví průmyslu produkuje vody z uhelného prádla, obsahující jemnou suspenzi částic uhlí. Vody je nutno před vypouštěním vyčistit sedimentací (v odkalištích) a získané kaly odvodnit. Z tepelného zpracování uhlí odpadají nebezpečné fenolové vody, které se čistí několikastupňově, kombinací chemických a fyzikálních postupů.[4]

Tepelné elektrárny

Největší negativní vliv na hydrosféru vykazují chladicí vody. Jsou teplé a při vypouštění do vodních toků by způsobily jejich oteplování, což by mělo za následek snížení rozpustnosti kyslíku, intenzivní růst nežádoucích organismů, urychlení rozkladných pochodů atd.[4]

Výroba koksu

Vznikají zde velmi nebezpečné fenolové vody. Ty bývají znečištěny řadou toxických a zapáchajících chemických sloučenin, někdy ve vysokých koncentracích (mohou přesahovat až 20 000 mg/l) – různými fenoly, amoniakem, kyanidy, dehty atd..[4]

Povrchová úprava kovů

Únik vod z těchto provozů je vždy velice nebezpečný. Obsahují toxické anorganické soli těžkých kovů, příp. kyanidové a dusitanové anionty.[4]

Kožedělný průmysl

Odpadní vody z kožedělného průmyslu patří k nejvíce znečištěným průmyslovým odpadním vodám. Jejich složení závisí především na použité technologii činění. Jsou kalné a obsahují velké množství anorganických (soli, kyseliny, zásady), organických (bílkoviny, tuky, barviva) a biologicky škodlivých látek (toxiny, patogenní mikroorganismy).[4]

Jatečný průmysl

Odpadní vody z jatek patří mezi velmi škodlivé, jelikož obsahují látky živočišného původu (krev, chlupy, zbytky masa, moč apod.).[4] Využití kořenových čistíren, pro čištění odpadních vod z tohoto průmyslu je znám již od konce 80. let minulého století z Austrálie.[6]

Mlékárenský průmysl

Odpadní vody jsou dvojího druhu: voda používaná na chlazení (neškodná) a voda obsahující zbytky mléka a mlékárenských výrobků (máslo, syrovátka, tvarohu) a čisticích prostředků.[4]

Výroba cukru, škrobu a droždí

Odpadní vody z cukrovarů patří k typicky nárazovým odpadním vodám, jelikož v době cukrovarnické kampaně je jich velké množství. Z toho důvodu se odpadní vody po důkladném předčištění sedimentací a chlorací vrací zpět do výrobního procesu. Odpadní vody z výroby škrobu obsahují hodně organických (hlavně sacharidy a látky bílkovinného charakteru) a anorganických látek. Pění a podléhají kyselému kvašení. Odpadní vody z výroby droždí jsou jedny z nejkonzentrovanějších a nejškodlivějších.[4]

1.4 Základní procesy v úpravě a čištění odpadních vod

Pro úpravu vody a čištění odpadních vod používáme různé technologické procesy. Počet, druh a řazení procesů, závisí na jakosti a znečištění odpadní vody a na požadované jakosti upravené nebo vyčištěné odpadní vody. Pro výběr optimální technologie čištění je u každé odpadní vody nezbytné mít informace o jejím složení, charakteru znečištění a rizikových látkách, které se v ní vyskytují.

Volba a řazení jednotlivých procesů do technologické linky záleží na charakteru znečištění a na splnění následujících požadavků:

1. Proces musí být účinný
2. Proces by měl být ekonomicky přijatelný
3. Proces by neměl být příliš náročný na spotřebu energie
4. Při procesu by se neměly vnášet do čištěné odpadní vody další znečišťující látky (např. anorganické soli, pomalu rozložitelné látky apod.)[3]

1.4.1. Procesy používané v technologii čištění odpadních vod

Mechanické procesy

- Cezení (česle)
- Usazování (usazovací nádrže)
- Centrifugace (centrifugy, odstředivky)
- Flotace (flotační nádrže)
- Filtrace (pískové filtry, síta)

Chemické a fyzikálně chemické procesy

- Číření (koagulace) a srážení
- Neutralizace
- Oxidace a redukce
- Sorpční procesy (aktivní uhlí aj.)
- Iontová výměna (ionexy)
- Odpařování, spalování
- Membránové procesy

Biologické procesy aerobní a anaerobní

- Biologické filtry
- Aktivační proces, procesy s granulovanou biomasou
- Stabilizační nádrže a laguny[3]

1.5 Schéma možného uspořádání průmyslových čistíren odpadních vod

Na rozdíl od městských čistíren odpadních vod, neexistuje ustálené schéma, jak by taková čistírna měla vypadat. Přesto existuje několik společných rysů, které lze vysledovat u řady těchto zařízení:

- *Decentralizované čištění* – většinou je nutné vyčistit několik proudů odpadních vod s různými vlastnostmi. Často je lepších výsledků dosaženo, jestliže jsou tyto proudy čištěny nebo alespoň předčištěny (před konečným společným čištěním) odděleně. Někdy je výhodnější použít několik menších zařízení určených pro konkrétní typ znečištění, umístěných blízko místa vzniku. Tento způsob čištění může dosahovat vyšší účinnosti než jedna centrální čistírna, která by se měla vypořádat se směsí těchto vod.[3]
- *Větší využívání fyzikálně-chemických metod čištění* – průmyslové odpadní vody jsou často svým složením nevhodné pro biologické čištění, může jít např. o obsah anorganických látek, příliš vysoké nebo naopak nízké koncentrace organických látek, přítomnost obtížně biologicky rozložitelných či toxických sloučenin a podobně. V takovém případě bývají součástí technologické linky čistírny, procesy založené na fyzikálně-chemických principech, buď v kombinaci s biologickým čištěním, nebo jako hlavní (a někdy jediná) technologie.[3]
- *„Nestandardní“ uspořádání biologického stupně* – zatímco u středních a velkých městských čistíren je nejrozšířenější verzí biologického čištění aktivace s postupným tokem, průmyslové čistírny nabízejí podstatně pestřejší přehledku používaných biologických stupňů. Používají se nejen aerobní procesy, ale i procesy anaerobní.[3]

Návrh konkrétního způsobu čištění průmyslových odpadních vod musí vycházet z podrobné analýzy vodního hospodářství konkrétního podniku, tedy nejen oblasti úpravy

a čištění vod, ale i všech výrobních a technologických procesů, při kterých se voda používá.

1.6 Nakládání s vyčištěnými odpadními vodami

Aby bylo možné posoudit možnosti vypouštění a čištění odpadních vod, je třeba znát jejich složení a množství. Údaje o přibližném složení odpadních vod lze získat látkovou bilancí a rozбором technologického procesu, při kterém odpadní vody vznikají. K otázce nakládání s vyčištěnými odpadními vodami může průmyslový podnik přistoupit různými způsoby např.:

- Vypouštění odpadní vody přímo do recipientu. V tomto případě musí kvalita vypouštěné odpadní vody splňovat požadavky platné legislativy.
- Vypouštění odpadní vody do městské kanalizace zakončené městskou mechanicko-biologickou čistírnou odpadních vod. Nároky na míru vyčištění vypouštěných vod pak bývají nižší, přípustná míra znečištění je dána kanalizačním řádem a smlouvou mezi podnikem a vlastníkem kanalizace a čistírny. Tato možnost není dostupná vždy – k dispozici nemusí být městská čistírna s dostatečnou kapacitou, nebo dané odpadní vody nemusí být vhodné pro biologické čištění. Pokud se však podnik k tomuto řešení uchýlí, často je nutné vody aspoň předčistit přímo v podniku.[3]
- Recirkulace – účelem recirkulace je vrátit podstatnou část vyčištěné vody k opětovnému využití.

2 Filtrace v úpravě vody

Filtrační stupeň je nejnákladnější a nejvýznamnější částí úpraven vody a do značné míry rozhoduje o výsledné kvalitě upravené vody. Hlavním cílem filtrace je odstranění suspendovaných látek. Obvykle následuje jako druhý stupeň za sedimentací nebo číření. V technologii vody se používají dva základní druhy filtrace: hloubková (objemová) filtrace a filtrace přes filtrační přepážku. Filtrace, je proces, při kterém kapalina protéká přes porézní přepážku, na které jsou zachycovány pevné částice. Filtrace se používá při čištění odpadních vod, v případě požadované nízké koncentrace nerozpuštěných látek v odtoku. Často se také využívá jako předčištění před procesy, kde by přítomnost nerozpuštěných látek ve vodě vadila (úprava vody ionexy, reverzní osmóza, adsorpce), nebo pro dočištění odtoku z biologických čistíren, neboť hlavní podíl zbytkového znečištění tvoří právě neusaditelné nerozpuštěné látky, které lze zachytit filtrací. Filtrace se rovněž používá pro zachycení zbylých vloček po koagulaci. Významnou aplikací je využití filtrace pro odvodňování čistírenských kalů.[3]

2.1 Filtrace vrstvou zrnitého materiálu

„Při průchodu vody, která obsahuje nerozpuštěné látky, vrstvou zrnitého materiálu určitých vlastností pronikají nerozpuštěné látky dovnitř této vrstvy, kde jsou teprve zachyceny. Mechanismus jejich zachycení je kombinací řady procesů – cezení, sedimentace, adsorpce a působení elektrostatických sil. Tento typ filtrace je vhodný pro málo koncentrované suspenze – například, dočištění odtoku z dosazovacích nádrží na biologických čistírnách. V tradičním uspořádání, probíhá filtrace směrem shora dolů a prací voda a vzduch jsou přiváděny opačným směrem, existují ale i obráceně protékané filtry.“[3]

„Nejčastější náplní filtrů jsou křemičité písky o různé velikosti zrn. Vrstvy písku jsou odstupňovány podle velikosti zrn (1 – 4 mm), přičemž upravovaná voda se přivádí na frakci s největším průměrem zrn.“[3]

„Používají se i vícevrstvé filtry kombinující několik typů náplní. Např. dvojvrstvé filtry obsahují dva druhy filtračních materiálů: horní vrstvu tvoří jemně drcený antracit, dolní vrstvou je křemičitý písek. Filtraci je možné spojit s adsorpcí použitím vrstvy s granulovaným aktivním uhlím, ropné látky lze zachytit filtrací přes koks, keramzit,

speciální sorbenty a jiné materiály. Jako filtrační materiál lze použít i látky, jejichž hustota je menší než hustota vody (filtry s plovoucí vrstvou). Jako filtrační materiál se používají částice z pěnového polystyrénu o průměru 1 – 2 mm. Výhodou této varianty filtrace je lehkost náplně a tím i celého zařízení, snadnost praní filtru a možnost využívat filtr v širokém rozmezí jeho zatížení.[3]

Podle tlakových poměrů ve filtrační vrstvě se filtry dělí na beztlaké (nazývané atmosférické nebo otevřené rychlofiltry) a tlakové. Otevřené filtry pracují za normálního atmosférického tlaku, hnací síla filtrace je dána výškou vodního sloupce filtrované vody. Rychlost filtrace je poměrně malá, ale tyto filtry lze realizovat s velkou filtrační plochou a přefiltrovat velké objemy vody. Pro čištění průmyslových odpadních vod se mnohem častěji používá uzavřených tlakových filtrů.[3]

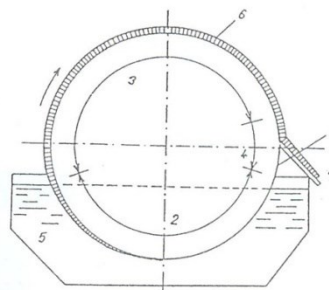
„Tlakové filtry se běžně vyrábějí do průměru 3000 mm, s odpovídajícím filtračním výkonem maximálně do cca $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, konkrétní hodnota závisí na koncentraci nerozpuštěných látek na vstupu do filtru. Filtrační rychlosti jsou $10 - 20 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$. Nejvyšší pracovní přetlak ve filtrech je 0,6 MPa.“[3]

2.2 Filtrace přes filtrační přepážku

Je-li velikost pórů ve filtrační přepážce menší než velikost suspendovaných částic v odpadní vodě, dochází k jejich zachycení na povrchu přepážky, kde vytvářejí vrstvu nazývanou filtrační koláč. V optimálním případě je tento koláč porézní a proto dovoluje filtraci dalšího objemu suspenze, přičemž je mechanismus zachycení suspendovaných látek obdobný jako je tomu u filtrace přes zrnitou vrstvu a účinnost zachycení odstraňovaných látek se postupně zvyšuje. V technologii vody se koláčová filtrace používá především pro odvodňování koncentrovaných suspenzí nebo kalů.[3]

„V průběhu filtračního cyklu se vrstva filtračního koláče zvyšuje a tím vzrůstá její filtrační odpor. Pokud překročí filtrační odpor hnací sílu, přestane filtrace probíhat. Proto se musí vzniklý filtrační koláč odstraňovat kontinuálně (u nepřetržitě pracujících zařízení) nebo periodicky (u diskontinuálních zařízení). Hlavní výhoda filtrace přes filtrační přepážku je to, že získáváme nerozpuštěné látky ve vysoce zkoncentrovaném stavu. Nejběžnější zařízení pro filtraci přes filtrační přepážku jsou vakuové filtry, kalolisy, sítopásové lisy nebo odstředivky.“[3]

- **Vakuové bubnové filtry** – jsou otáčivé bubny, jejichž povrch je pokryt filtrační plachetkou. Po ponoření bubnu do suspenze se filtrát nasává dovnitř bubnu a je vývěvou odváděn. Na filtrační plachetce vzniká filtrační koláč, který se v dalších sekcích suší prosáváním vzduchem, nebo se promývá vodou. V dalším pásmu se koláč odstraňuje škrabkou, eventuálně odfukuje tlakovým vzduchem. Tloušťka koláče je podle filtrovatelnosti suspenze od 5 do 40 mm.[3]



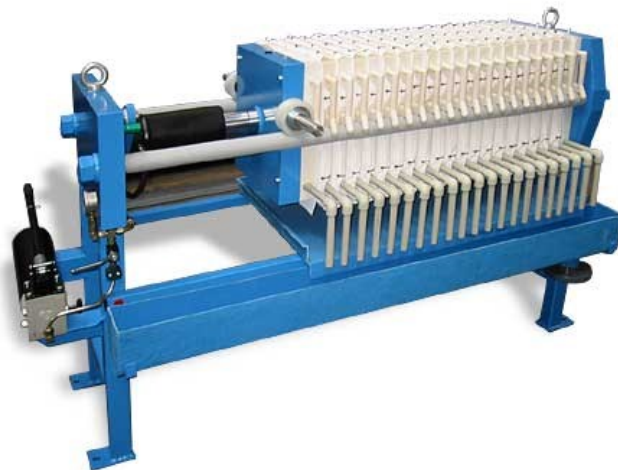
Obrázek 1 – vakuový bubnový filtr:

1 – filtrační buben s plachetkou, 2 – pásmo nasávání, 3 – pásmo odvodňování, 4 – tlakové pásmo, 5 – kalová suspenze, 6 – kalový koláč, 7 – odvodněný kal

- **Kalolisy** – se dělí na rámové, komorové a membránové. Rámový kalolis se skládá z rámů a desek. Filtrace probíhá přes filtrační plachetky přetažené přes horní okraje rámů. Suspenze se vhání pod tlakem kanálem v ose kalolisu dovnitř komor uvnitř rámů. Filtrát, který projde přes plachetku, stéká rýhováním desek do sběrných kanálů. Po naplnění rámů filtračním koláčem, je třeba kalolis otevřít, koláč odstranit a očistit plachetky.[3]
 - *Komorový kalolis* – se liší od rámového tím, že nemá rámy, je tvořen pouze deskami potaženými plachetkami, přičemž každá deska má vlastní odvod filtrátu.[3]
 - *Membránový kalolis* – je navržen pro dosažení co nejvyšší sušiny filtračního koláče. Jde v podstatě o komorový kalolis, ve kterém je mezi plachetku a desku vložena membrána.[3]

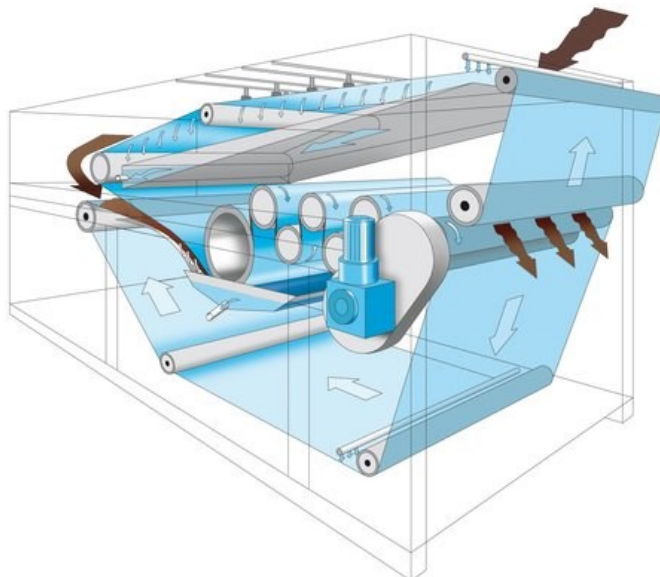
„Kalolisy mají mnoho výhod, a proto se používají velmi často pro filtraci průmyslových suspenzí. Hlavní výhodou je možnost zpracovat všechny druhy suspenzí, přičemž se získává filtrační koláč s nejvyšší sušinou (až 50%, výjimečně i 80% - podle vlastností kalu). Při vhodném uspořádání je k dispozici velká filtrační plocha na malém prostoru a proto i velký měrný objem zpracovávané suspenze. Jistou nevýhodou je to, že

kalolis pracuje jako diskontinuální zařízení, což lze řešit uskladněním kalu, použitím více kalolisů v paralelním uspořádání nebo rozdělením většího kalolisu do několika nezávislých sekcí.“[3]



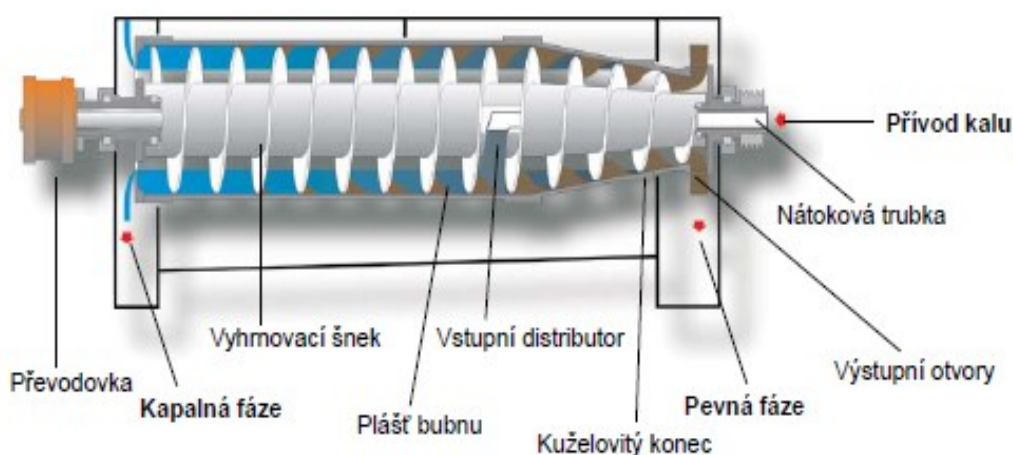
Obrázek 2 - kalolis

- **Sítopásové lisy** – Dvě plachetky unášejí odvodňovanou suspenzi, ze které se v první fázi prostou filtrací uvolňuje voda. V následující fázi se suspenze pod tlakem odvodňuje lisováním mezi válci. Odvodněný kal se pak odvádí, plachetky se čistí propláchnutím tlakovou vodou. Pásové filtry se používají nejčastěji pro odvodňování kalů na městských čistírnách odpadních vod.[3]



Obrázek 3 - Sítopásový lis HUBER

- **Náplavová filtrace** – je jednou s variant filtrace přes filtrační přepážku. Používá se pro filtraci suspenzí, jejichž filtrační odpor je tak velký, že jsou běžnými postupy nefiltrovatelné. Přídavkem pomocných lépe filtrovatelných materiálů vznikne směs suspendovaných látek, které už lze filtrovat. Nejčastěji používaný náplavový materiál je rozsvíková zemina, perlit, buničina, azbest, dřevěné piliny nebo jemně drcený koks. Náplavové filtry jsou buď vakuové (pro nízké koncentrace nerozpuštěných látek), nebo tlakové (pro koncentrované suspenze).[3]
- **Dekantační odstředivky** – běžně používaným typem odstředivek jsou dekantální odstředivky s kontinuálním provozem, které pracují na principu zvýšení gravitačních účinků. Pomocí odstředivých sil jsou odděleny pevné částice, čímž dochází k efektivnímu odvodnění kalů. Hlavními částmi odstředivky jsou vodorovný válcovitý buben, šnek a motor. Nátokovým potrubím je do bubnu přiváděná suspenze, z které se vlivem, odstředivých sil usazují pevné částice na stěnách rotujícího bubnu. Vyhrnovací šnek vytlačuje pevné částice zachycené na stěnách bubnu do kuželovité části bubnu, odkud je odvodněný kal odváděn otvory ven do sběrných nádob.



Obrázek 4 - Odstředivka

3 Čistírenské kaly

Kal je nevyhnutelným odpadem při čištění odpadních vod. Zpracování těchto vod je navrženo tak, aby odstraňovalo nežádoucí složky z vody a koncentrovalo je do objemově nevýznamného vedlejšího proudu - kalu. Cílem úpravy kalů je zabránit nepříznivým dopadům na životní prostředí a lidské zdraví. Koncentrace prospěšných i znečišťujících složek v kalu (a zdravotní rizika s nimi spojená) závisí na počáteční kvalitě odpadní vody a na úrovni požadované technologie, která zaručí dosažení kvalitativních požadavků na vyčištěnou odpadní vodu. [18]

3.1 Charakteristika čistírenských kalů

Pojmem odpadní kal se označují směsi dvou nebo více odpadních látek. Nejméně jedna z těchto látek musí být přítomna v kapalném skupenství a vytvářet souvislou kapalnou fázi. Nejméně jedna další látka musí být přítomna v tuhém skupenství a musí být rozptýlena (dispergována) v souvislé kapalně fázi. [12]

Čistírenský kal je jedním z konečných produktů procesu čištění odpadních vod. V procesu klasického čistírenského postupu se většina z přivedeného znečištění v odpadních vodách převádí do kalů. Kaly představují přibližně 1 - 2% objemu čištěných vod, je však v nich transformováno 50 - 80% původního znečištění. Zpracování a likvidace těchto kalů se tak stává jedním z nejdůležitějších a nejkritičtějších problémů čištění odpadních vod. Náklady na provoz kalového hospodářství představují, až 50% celkových provozních nákladů čistírny odpadních vod. Cílem úpravy kalů je zabránit nepříznivým dopadům na životní prostředí a lidské zdraví. [8]

Kaly představují suspenzi pevných látek a agregovaných koloidních látek původně přítomných v odpadních vodách a vzniklých při různých způsobech jejich čištění. Koncentrace kalů se vyjadřuje jako obsah sušiny kalu (vyjádřený buď v g/l nebo v %). Složení a obsah sušiny kalu závisí především na charakteru znečištění odpadních vod a na čistírenských procesech, kterým byla daná odpadní voda podrobena (mechanické čištění, biologické čištění nebo jejich kombinace, fyzikálně-chemické čištění nebo dočištění apod.).

Celkové množství produkovaných kalů závisí na množství zpracovávaného znečištění (počet EO) a na způsobu čištění odpadních vod a typu kanalizace. Množství

produkovaného kalu také závisí na technologickém postupu zpracování kalu (zahušťování, desintegrace, stabilizace, odvodňování, desinfekce, sušení apod.). Větší pozornost musí být věnována také různým činidlům (soli železa a hliníku, vápno, polymery apod.) přidávaných do procesu čištění vod nebo zpracování kalů.[1]

3.2 Složení kalů

Kaly se v ČOV usazují jednak ve formě **primárního kalu**, který se odděluje ze surové vody sedimentací v usazovacích nádržích, má zpravidla zrnitou strukturu a je tvořen nerozpuštěnými látkami, které prošly lapáky písku a česlemi, jednak ve formě **sekundárního (aktivovaného) kalu**, který vzniká v biologickém stupni čištění odpadních vod a odděluje se od vyčištěné vody v dosazovacích nádržích, má vločkovitou strukturu a je ovlivněn čistícím zařízením, v němž vznikl. Oba druhy kalů se spojují a společně nebo separátně se zahušťují před dalším zpracováním. Takto spojený kal se nazývá **surový kal**. [13]

Tabulka 1: Složení kalu [13]

Složka	% složek		
	Primární	Aktivovaný	Vyhnílý
Organická hmota	60 - 80	60 - 75	45 - 60
Inertní látky	20 - 40	25 - 40	40 - 45

Tabulka 2: Množství sušiny [13]

Typ kalu	% sušiny
Primární kal	2,5 - 5
Aktivovaný kal	0,5 - 1,5

3.3 Zpracování kalů

Jak kal primární, tak sekundární potřebuje další zpracování, a to hlavně kvůli stabilizaci organické hmoty, snížení obsahu vody a snížení počtu mikroorganismů. Primární kal z primární sedimentační nádrže obsahuje 2 - 3 % sušiny, sekundární kal obsahuje 0,5 - 1 % sušiny. Během stabilizace organické hmoty dochází k poklesu počtu patogenů a také omezení zápachu. Snížení obsahu vody vede k celkovému snížení hmotnosti kalu, což usnadňuje a zlevňuje jeho transport.[9]

Nejprve je kal zahuštěn sedimentací nebo centrifugací. Poté je organická hmota v kalu stabilizována za anaerobních nebo aerobních podmínek. Během tohoto procesu dochází k rozkladu organického materiálu a částečné destrukci patogenů (díky vyšší teplotě). Anaerobní rozklad (methanizace, vyhnívání) je častější a probíhá 3 - 4 týdny ve velkých uzavřených nádržích. Methanizace kalu je výhodná pro vedlejší produkci methanu, který se může využít jako zdroj energie. Aerobní stabilizace probíhá v otevřené nádrži, do které je přiváděn vzduch. Výhodou tohoto typu rozkladu jsou nízké pořizovací náklady, jednoduchá obsluha a produkce kalu bez zápachu.[9]

3.3.1 Odvodnění kalů

Odvodnění kalu je základním požadavkem v technologiích zpracování, využití a likvidace kalu. Dochází při něm ke zmenšení jeho objemu a tím ke zmenšení nároků na transport a zpracovatelské technologie pro využití kalu. Optimální odvodnění kalu je také základní podmínkou pro jeho spalování. Zmenšením objemu kalu odstraněním přebytečné kalové vody dochází také ke snížení dávek $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nebo CaO při hygienizaci kalu. To vše vede k úsporám nákladů na zpracování, využití a likvidaci kalů.

- **Přirozené odvodňování**

Kalové pole je otevřená mělká nádrž s betonovým dnem pokrytým vrstvou šterkopísku. V této vrstvě je zabudovaná drenáž, odvádějící odseparovanou vodu z kalu. Do nádrže se vypouští stabilizovaný kal ve vrstvě 20 – 40 cm, který je odvodněn jednak vsakováním vody do drenážní vrstvy, jednak výparem. Kal bývá z pole odebrán nakladači a transportován k finálnímu zpracování. Tento způsob odvodnění je časově náročný, závislý na klimatických činitelích, investičně nákladný a má velké nároky na zastavěnou plochu.

Kalové laguny mají přirozené dno bez drenážní vrstvy. Obvodové hráze se navrhují zemní, zpevněné kamenitým záhozem, dlažbou, nověji panely. Navrhují se nejméně dvě jednotky pracující samostatně. V těchto případech bývá střední hráz nahrazena betonovou stěnou. Pro stroje na těžbu vysušených kalů se upravuje vjezd do laguny. Odsazená voda se vypouští z každé laguny samostatně a regulují se přepady. Hladina vody se navrhuje vždy na nejvyšší úroveň, aby se udržel maximální prostor pro zahušťování. Kalové laguny plní zahušťovací i odvodňovací funkci. Obvykle se na ně vypouští všechna kalová voda.

- **Strojní odvodňování**

Pro účely odvodňování vodárenských kalů je možno v podstatě použít tři základních technologických zařízení. Jsou to odstředivky, pásové lisy a kalolisy. Těmito metodami je možno docílit hodnot obsahu sušiny v odvodněném kalu pohybující se v rozmezí 25 až 40 %.

Odstředivky - běžně používaným typem odstředivek jsou dekantální odstředivky s kontinuálním provozem, které mohou být dle prostorového uspořádání toku médií buďto souproudé nebo protiproudé. Kal se přivádí do otáčivého bubnu odstředivky s vodorovně uloženou osou zpravidla axiálně. Při rotaci bubnu se oddělí tuhé složky, které se usazují na vnitřním povrchu pláště a jsou kontinuálně vynášeny šnekovým dopravníkem. Oddělená kalová voda je rovněž kontinuálně odváděna.

Šnekové lisy - slouží pro kontinuální provoz. Při průchodu šnekem je kal postupně vystavován zvyšujícímu se tlaku a dochází k vylisování kalové vody. Šnek lisu je zpravidla obalen vhodným sítem, aby se zabránilo úniku tuhých podílů s kalovou vodou.

Sítópásové lisy - pracují na obdobném principu jako papírenský stroj. Dvě plachetky unášejí odvodňovanou suspenzi, ze které se v první fázi prostou filtrací uvolňuje voda. V následující fázi se suspenze pod tlakem odvodňuje lisováním mezi válci. Odvodněný kal se pak odvádí, plachetky se čistí prostřikem tlakovou vodou. Pásové filtry se používají nejčastěji pro odvodňování kalů na městských čistírnách odpadních vod.

Kalolisy - jsou vyráběny dva základní typy, a to komorové a membránové kalolisy. Membránové kalolisy dosahují až dvojnásobného výkonu ve srovnání s odpovídajícími komorovými kalolisy. V provozu kalolisů se prosazuje automatizace. Jako filtrační látka se používá nejčastěji polypropylen v úpravě, omezující přilnavost filtračního koláče k filtrační látce.[14] Kalolis může filtrovat i špatně odvodnitelné kaly, má vyšší sušinu filtračního koláče než jiné metody (pásové lisy, odstředivky).

3.3.2 Předúprava čistírenských kalů

Nezbytnou podmínkou pro strojní odvodňování čistírenských kalů je jejich předúprava, kterou se dosáhne agregace koloidních částic i mikročástic do větších celků, makrovloček. Předúprava kalu může být termická, ohřátím pod tlakem na teplotu přes 100 °C, nebo častěji používaná úprava chemická, spočívající v dávkování flokulantu. Druh a dávkování flokulantu závisí na jeho vlastnostech a na druhu kalu. Při flokulaci dochází ke spojování koloidních částic a mikročástic do větších vloček a k jejich sedimentaci. Míchání musí být pomalé, aby se částice mohly setkat a shlukovat a zároveň se nesmí rozbíjet již vzniklé vločky.

Pro předúpravu čistírenského kalu odvodňovaného na kalolisech nebo vakuových filtrech se používají anorganické flokulanty – železité nebo hlinité soli a hydroxid vápenatý. Dávkování bývá v jednotkách procent na obsah sušiny, u vápna 10 až 20%. Dávku anorganických flokulantů lze snížit, nebo zcela vyloučit přidáním malého množství organických flokulantů – většinou na bázi polyakrylamidu. Organické flokulanty se používají v dávkách 2 až 4 g na kg sušiny kalu při předúpravě kalů odvodňovaných na sítopásových lisech a odstředivkách.[11]

3.3.3 Porovnání odstředivky, kalolisu a sítopásového lisu

Odstředivka –

Výhody

- optimální výkon z hlediska obsahu sušiny v odvodněném kalu a kvality odseparované kapaliny (fugátu)
- kontinuální a plně automatizovaný proces separace kalů
- univerzální použití (odvodňování kalů, zahušťování kalů za použití flokulantu i bez použití flokulantu)
- konstrukce určená pro vysoké zatížení
- snadná obsluha
- kompaktní provedení a malé prostorové nároky[17]

nevýhody

- vyšší cena technologického zařízení
- vyšší spotřeba polymerů
- vyšší energetická náročnost
- potřebná speciální údržba

Pásové lisy –

Výhody

- výrazně nižší spotřeba elektrické energie a chemikálií ve srovnání s odstředivkami
- sušina kalu 20 – 35 %
- možnost kontinuálního automatického provozu
- jednoduchá obsluha
- relativně nízké nároky na obestavěný prostor ve srovnání s komorovými kalolisy
- nízké pořizovací náklady ve srovnání s alternativními metodami
- nízké pořizovací náklady ve srovnání s odstředivkami
- nenáročný servis[16]

nevýhody

- potřebná přítomnost obsluhy
- vyšší spotřeba technologické vody pro ostřík filtračních pásů
- otevřené zařízení, potřeba odsávání zápachu a vlhkosti
- produkce odpadních vod z ostříku filtračních pásů

Kalolisy –

Výhody

- Vyšší dosahovaná sušina ve srovnání s alternativními metodami odvodnění.
- Kompaktnější filtrační koláč, se kterým se lépe manipuluje
- Vysoká flexibilita vůči filtrované suspenzi
- Nízká spotřeba fakulantu. Nízké provozní náklady
- Malé množství pohyblivých částí – menší požadavky na údržbu
- Jednoduchá obsluha
- Nízká hlučnost[15]

nevýhody

- Vysoké investiční náklady
- Diskontinuální provoz
- Vysoká pracnost
- Vyšší nároky na plochu
- Nebezpečí ucpávání filtrační plachetky

3.4 Nakládání s kaly

Odpadová politika EU potlačuje ukládání odpadů na skládky a podporuje předcházení vzniku odpadů, jejich minimalizaci a recyklaci. Dosud nejrozšířenějším způsobem nakládání s kaly v ČR je výroba rekultivačních kompostů a využívání takto upravených kalů k rekultivacím skládek a k rekultivacím po důlních činnostech. Tento způsob nakládání s kaly není ovšem dlouhodobě udržitelný vzhledem ke snižování rozsahu rekultivací.[19]

Produkci kalů nelze zabránit, pouze lze výběrem technologie zmenšit jeho množství. Legislativou, je problematika kalů upravena vyhláškou 382/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.

Způsoby zpracování kalů závisí na místních podmínkách dané lokality, na fyzikálních, chemických a biologických vlastnostech kalů a na možnosti konečného řešení kam s nimi. V současné době přicházejí v úvahu tři způsoby konečného zpracování kalů:

- Využití v zemědělství a na rekultivace (po předchozí stabilizaci), využití kalů v zemědělství je nejrozsáhlejší využitím likvidace a jde o nejekonomičtější nakládání s kaly s ČOV. Použitím kalů jako hnojiva zvyšujeme plodnost rostlin.

Nieméně skutečnost výskytu toxických látek (těžkých kovů, pesticidů ...) tvoří riziko ohrožení půdních organismů.[10]

- Termické zpracování (různé způsoby spalování – samostatně, v cementárně, pyrolýza), postupů k tepelnému zpracování kalů je celá řada, liší se nejen svými fyzikálně - chemickými principy, ale i stupněm technologické zralosti.[21]
- Uložení na skládku.

Technologická linka na zpracování kalu pak má být uspořádaná s ohledem na metodu konečného řešení. Způsoby zpracování kalů musí splňovat následující podmínky:

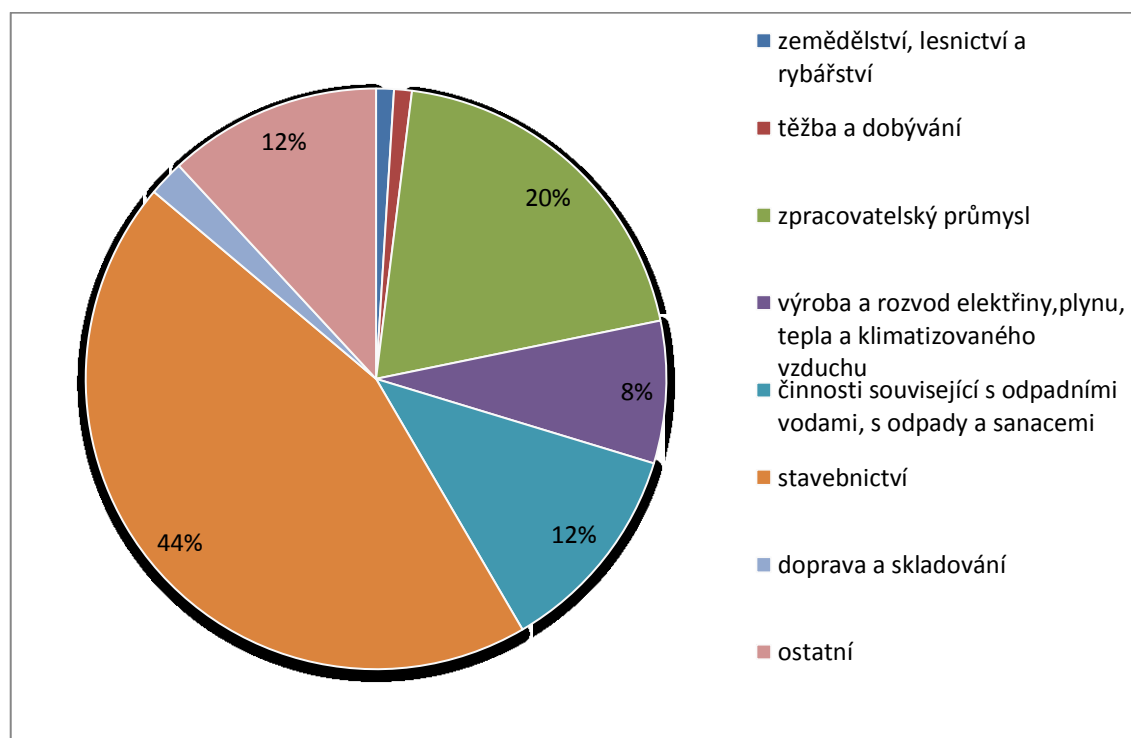
- vyhovovat platné domácí (i mezinárodní) legislativě v oblasti ochrany životního prostředí,
- být akceptovány veřejností,
- maximálně využívat energii a cenné látky z kalů za současné minimalizace nákladů a celkové potřeby energie,
- musí být po technické stránce spolehlivé a ekonomicky dostupné,
- musí být přijatelné z hlediska ochrany životního prostředí (emise, využití energie, potenciální riziko kalových reziduí pro lidské zdraví apod.),
- musí být přijatelná infrastruktura a logistické aspekty jakož i cesta (způsob) zavedení dané technologie.

Při výběru technologie zpracování kalů je potřeba mít na zřeteli, že minimalizace bezpečnostního rizika a akceptovatelnost veřejností jsou důležitější než cena navrhované technologie.[1]

3.4.1 Produkce odpadů v České republice

Produkce podnikových odpadů

Graf 1: Produkce podnikových odpadů podle vybraných ekonomických činností 2010 [22]



Produkce čistírenských kalů

Produkce kalů z čistíren odpadních vod od roku 2003 trvale klesala, v roce 2006 klesla na polovinu produkce kalů z roku 2003. V roce 2008 došlo k výraznému zvýšení, což bylo ale způsobeno změnou legislativy, která umožňovala udávat množství produkce kalů buď v sušině, nebo v původním stavu. Od roku 2009 produkce kalů dále klesá. Níže znázorněno v uvedené tabulce č.3.[23]

Tabulka č. 3 Produkce kalů z ČOV od roku 2003-2010

	Kaly z čistíren odpadních vod								
Celková produkce odpadů	rok	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	t/rok	469 062	349 543	239 783	220 683	231 661	467 231	168 866	162 724

Produkce čistírenských kalů katalogového čísla 190813

Využití tohoto kalu v oblasti zemědělství, rekultivací nebo jako suroviny pro výrobu hnojiv je nemožné, důvodem je např. vysoký obsah těžkých kovů, ropné znečištění a další. Jednou z možností likvidace tohoto kalu je spalování nebo biodegradace, která je nejčastěji používaným způsobem odstranění. V níže uvedené tabulce č. 4 uvedeno srovnání produkce nebezpečných odpadů.

Tabulka č. 4: Produkce nebezpečných kalů katalogového čísla 190813

	Kaly katalogového čísla 190813								
Produkce kalů 190813	rok	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	t/rok	32 554	17 259	14 890	20466	22 596	24 510	19 608	18 916

Po zavedení vyhlášky č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití kalu na zemědělské půdě nastal v ČR odklon od tohoto způsobu využití kalu. Podíl kalů z produkce čistíren odpadních vod použitých na zemědělské půdě se však od roku 2004 do roku 2007 přesto výrazně zvyšoval, z 3,4 % v roce 2004 na 25,9 % v roce 2007. Od roku 2008 dochází k poklesu využívání kalů na zemědělské půdě na 16,7 % v roce 2010. V tabulce č.5 je uvedeno procentuální využití kalů z čistíren odpadních vod na zemědělské půdě.[24]

Tabulka č 5: Využití kalů na zemědělské půdě

	Kaly z čistíren odpadních vod použité na zemědělské půdě								
Podíl z produkce	rok	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	%	10,0	3,4	11,4	11,5	25,9	20,6	17,9	16,7

3.4.2 Nakládání s kaly v EU

Ze studie „Environmental, economic and social impact of the use of sewage sludge on land, Final Report, Part III: Project Interim Reports“ vyplývá, že kal z čistíren odpadních vod je v zemích EU zpracováván několika způsoby, mezi nimiž převládá ukládání na zemědělskou půdu, energetické využití a dosud také stále skládkování. Státy, jako Německo, Francie, Nizozemsko, Rakousko zcela zakázaly nebo značně omezily ukládání kalů na skládky. V těchto zemích dochází k omezování aplikace kalů na

zemědělskou půdu. Je zde hlavně preferována anaerobní digesce s výrobou bioplynu, spalování nebo spolužalování v cementárnách, elektrárnách nebo spalovnách.

V Dánsku, Finsku, Irsku a Lucembursku je hlavním způsobem využití kalů z ČOV, aplikace v zemědělství. Tyto kaly podléhají přísným normám, pokud tyto normy nesplňují, je kal energeticky zpracován. V Belgii, v částech Vlámsko a Brusel se kaly v zemědělství téměř nepoužívají, na rozdíl od Valonska, kde je skoro polovina vyprodukovaných kalů použita na zemědělské půdě. Obdobné použití je i v Portugalsku.

Ve skupině států, jako je Estonsko, Bulharsko, Kypr, Lotyšsko, Litva, Malta, Rumunsko, Řecko se začínají i s finanční pomocí EU budovat zařízení na ekologické nakládání s kaly. V těchto státech převažuje skládkování kalů. [25]

4 Ústřední čistírna odpadních vod ČEZ Energetické služby, s.r.o. Ostrava

Tato část bakalářské práce popisuje ÚČOV ČEZ Energetické služby, s.r.o., účel čistírny, proces čištění odpadní vody a způsob vzniku kalu a jeho odvodnění, kterému je tato práce věnovaná. Na níže uvedené obrázku č. 5 vidíme letecký snímek popisované čistírny.



Obrázek 5 - ÚČOV, v pravé části snímku 3 funkční usazovací nádrže, ve středu velín a budova kalového hospodářství, v levé části snímku staré usazovací nádrže, dnes sloužící jako zásobní nádrže, chladicí věže a čerpací stanice [29]

4.1 Účel a cíl ÚČOV ČEZ ES s.r.o.

Účelem koncové čistírny odpadních vod je vyčistit odpadní vody producentů odpadních vod, zejména odpadních vod z hutních a strojírenských provozů jednotlivých organizačních jednotek VÍTKOVICE, a.s., EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s., VÁLCOVNA TRUB TŽ, a.s. a dalších externích organizací. Vyrovnávat nárazové zvýšení množství přitékajících vod a přečerpávat přívalové vody do recipientu, vyčištěnou vodu využít jako recirkulovanou vodu pro teplárnu na hydro-dopravu popelovin a pro provoz VÁLCOVNA TRUB TŽ, a.s. Přebytečnou vyčištěnou vodu přečerpávat do recipientu. Zachytit ropné látky, které se z provozů dostanou do odpadních vod a zachytit ropné a jiné havárie, které by ohrozily řeku Ostravici. Schéma čistírny odpadních vod je znázorněno v příloze č. 1.[31]

4.2 Stručný popis a funkce ústřední čistírny odpadních vod

Ústřední čistírna odpadních vod ČEZ ES je mechanicko-chemická čistírna, kde technologie čištění odpadních vod je založena na principu sedimentace po předešlém dávkování koagulantu, flokulantu a při současně úpravě pH, přitékajících odpadních vod z výrobně technologických zařízení organizačních jednotek VÍTKOVICE, a.s., EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a. s., VÁLCOVNA TRUB TŽ, a.s. a dalších externích organizací, předčištěných splaškových vod a vod dešťových. Z důvodů, že se v těchto provozech používá, velké množství různých olejů a maziv, je hlavním úkolem čistírny snížit množství ropných látek v odpadní vodě pod stanovený limit.

Průměrný přítok na čistírnu odpadních vod je $300 - 400 \text{ l.s}^{-1}$, maximální čištěné množství odpadní vody je 800 l.s^{-1} , instalovaný výkon na přečerpávání přívalových vod je 3010 l.s^{-1} , z toho zpětné využití recirkulované vody je 260 l.s^{-1} . [31]

4.2.1 Hlavní části

1. čistící stanice odpadních vod včetně čerpací stanice (stará čerpací stanice)
2. čerpací stanice recirkulované vody (nová čerpací stanice)
3. kalové hospodářství
4. chemická úprava [31]

4.2.2 Povolené limity pro vypouštění odpadních vod do recipientu

1. Vypouštění odpadních vod do řeky Ostravice z ÚČOV ČEZ ES je povoleno Rozhodnutím č.j. MSK 197595/2007 vydané Krajským úřadem Moravskoslezského kraje, odboru životního prostředí a zemědělství.
2. Množství vypouštěných vyčištěných odpadních vod z ÚČOV z gravitačního kanálu do recipientu:

$Q \text{ prům.} = 70 \text{ l/s}$, $Q \text{ max.} = 800 \text{ l/s}$, $Q \text{ max./rok} = 5\,500 \text{ tis.m}^3/\text{rok}$. [31]

V tabulce č. 6 jsou uvedeny hodnoty povolených limitů znečištění vyčištěných odpadních vod, které jsou uvedeny v provozním a manipulačním řádu ÚČOV. V posledním sloupci tabulky jsou uvedeny skutečně naměřené průměrné hodnoty znečištění ve vyčištěné odpadní vodě za rok 2013. Celkové množství vyčištěné vody Ústřední čistírnou odpadních vod za rok 2013, činilo 4 613 418 m³.

Tabulka č 6: Povolené limity znečištění vyčištěných odpadních vod

Ukazatel	Koncentrační hodnoty mg/l		Bilanční hodnoty	Měřené průměrné hodnoty
	Hodnoty „p“	Hodnoty „m“	t/rok	mg/l
pH	6 – 9			7,9
RL	800	900	4400	890
NL	25,0	30,0	137,5	9,24
CHSK – Cr	50,0	60,0	275	18,9
BSK ₅	15,0	30,0	82,5	5,22
RAS	750	800	4125	408
Fe celk.	3,0	4,0	16,5	0,933
NH ₄ ⁺	3,7	5,0	20,35	2,29
SO ₄ ²⁻	250,0	350,0	1375	150
Cl ⁻	120,0	150,0	660	63,3
CN ⁻	0,2	0,3	1,1	0,00937
FENOLY	0,15	0,3	0,825	0,0133
C 10 – C 40	2,0	2,5	11	0,534

Hodnoty „p“ – přípustná hodnota ukazatelů znečištění odpadních vod

Hodnoty „m“ – nepřekročitelná hodnota ukazatelů znečištění odpadních vod

4.3 Popis a schéma zařízení

Odpadní vody se na Ústřední čistírnu odpadních vod přivádějí pomocí tří hlavních kanalizačních sběračů, kanalizační sběrač „A“, kanalizačním sběračem „B“, a kanalizačním sběračem „E“. Schéma kanalizace ÚČOV je znázorněno v příloze č. 2.

Kmenovou stokou „A“ jsou na ÚČOV odváděny odpadní vody z oblasti VÁLCOVNA TRUB TŽ, a.s., VÍTKOVICE, a.s. a dalších externích organizací. Na kanalizační sběrač „B“ je napojena severní část VÁLCOVNA TRUB TŽ, a.s. a objekty bývalé koksovny. Stoka „C“ se spojuje se stokou „A“ a odvádí odpadní vodu z oblasti EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s. Kanalizační sběrač „E“ je určen pro odvádění odpadních vod z Teplárny Vítkovice ČEZ, a.s. a externích organizací v dolní oblasti.[31]

Poněvadž sběrač „E“ je uložen níže než ostatní sběrače, je nutno vodu přečerpávat do přívodního kanálu „A“, který pokračuje do přívodního žlabu, pomocí přečerpávací stanice, která je osazena dvěma šnekovými čerpadly YBA. V přívodním žlabu jsou ručně stírané česle, hrubé česle jsou s mezerou mezi česlicemi 40 mm, za nimi jsou česle jemné s mezerou mezi česlicemi 15 mm. Na těchto česlích se zachytí plovoucí nečistoty, které jsou ručně shrabávány a ukládány do kontejneru k tomu určenému.

Na kanalizačním sběrači „B“ jsou pouze česle jemné. Tyto dva sběrače se spojují před vstupem do první míchací komory, opatřené míchadlem. Před soutokem obou kanálů, se do kanálu „A“ dává koagulant, přímo do soutoku je přidáváno vápenné mléko Ca(OH)_2 pro úpravu pH odpadní vody. V první míchací komoře dojde k promísení odpadní vody s koagulantem a vápenným mlékem. Odpadní voda pak odtéká přes rozdělovací stěnu do předusazovací nádrže, kde se usadí písky a těžké nečistoty a dochází k vytváření vloček. Před koncem předusazovací nádrže je norná stěna, na které se zachycují ropné látky, jejich odtažení se provádí pomocí sběrače ropných látek „SKIMMER“, nebo fekálním vozem.[31]

Z předusazovací nádrže odtéká odpadní voda do druhé míchací komory, před kterou se do odpadní vody přidává flokulant. Z druhé míchací komory se odpadní voda rozděluje do přívodních kanálů usazovacích nádrží č.1, 2 a 3. Usazovací nádrže mají průměr 35 m, plochu 962 m^2 a obsah 3262 m^3 . Odpadní voda do nádrží vtéká středovými sloupy a výtakovými okny je rovnoměrně rozdělována do usazovacích nádrží. Usazovací nádrž je opatřena pojezdovým mostem, na němž je zavěšen flokulační válec, shrabovací zařízení plovoucích látek a shrabovací zařízení kalu. Ve flokulačním válci se zachycují ropné látky, které se nezachytily v před-usazovací nádrži. Odpadní voda s vločkovým mrakem a s nabalenými nečistotami je usměřována ke dnu. Odtok odpadní vody z nádrže je přes hřeben, před kterým je norná stěna na zachycení zbytku ropných látek, které se nezachytí na předchozích norných stěnách a jsou stírány do olejových lapačů. Ze žlabů vytéká odpadní voda do kanálu vyčištěné odpadní vody, kterým je přiváděna do sacích jímek čerpadel vyčištěné vody. Jímky vyčištěné odpadní vody jsou tři a jsou očíslovány č. 6, 7 a 8. Vyčištěná voda je čerpána buď přímo, nebo přes chladicí věž, na doplnění sacích jímek čerpadel recirkulované vody, nadbytečná voda je přečerpávána do řeky Ostravice. Účelem, recirkulace je vrátit podstatnou část vyčištěné vody k opětovnému využití v teplárně ČEZ, a.s. a VÁLCOVNA TRUB TŽ, a.s. Při využívání recirkulované

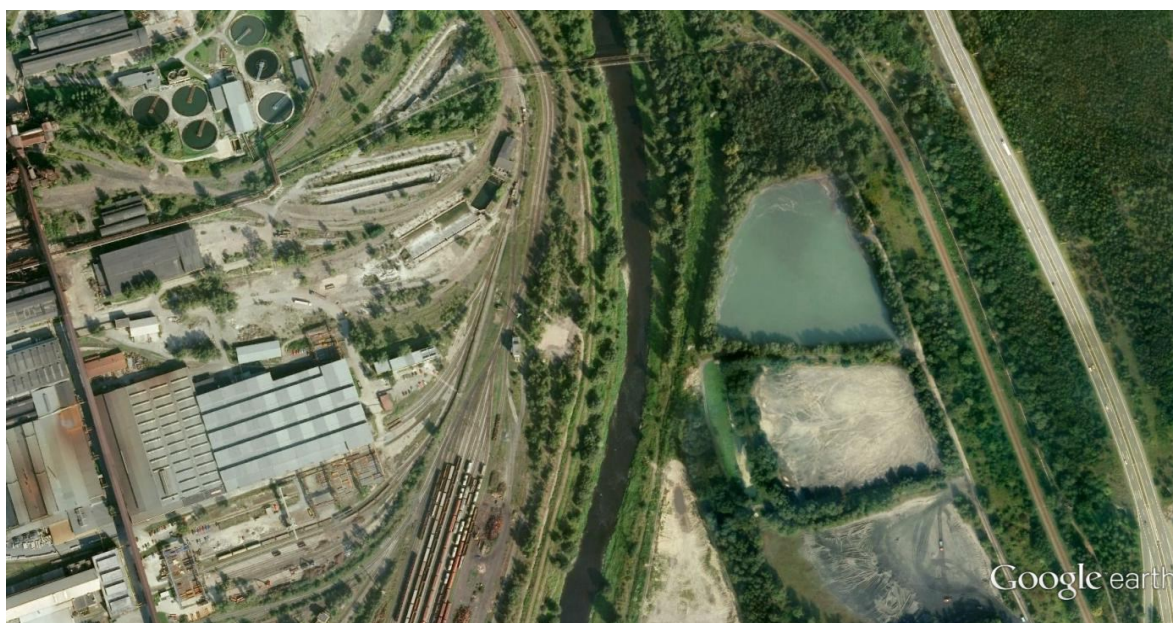
vody se snižuje nákup vody a zároveň se snižuje množství vypouštěné vody do toku. Recirkulovaná voda je čerpána přímo do jímek chladicího okruhu a na splavování popelovin.[31]

Kalové hospodářství – v každé usazovací nádrži je nade dnem shrabovací zařízení, kterým se usazený kal shrabuje směrem ke středovému sloupu. Odtud se kalovým potrubím pomocí hydrostatického tlaku a stlačeného vzduchu dopravuje do kalových jímek. Obsah každé jímky je 46 m³. V kalových jímkách se kal promíchává míchadlem a je kalovým čerpadlem dopravován na linku dehydratace kalu.

Zařízení na vybírání štěrku a písku je strojní zařízení v předusazovací nádrži. Nádrž je tvořena betonovou jímkou umístěnou na přítoku čistírny odpadních vod. Vybraný písek a štěrk se ukládá do sběrných bikramových nádob, které jsou po naplnění odvezeny externí firmou.[31]

5 Kalové hospodářství a dehydratace kalů na Ústřední čistírně odpadních vod ČEZ ES s.r.o.

Při provozu čistíren odpadních vod vznikají odpady. Podle zákona O odpadech č. 185/2001 Sb. § 10, je nutné předcházet tvorbě odpadů, omezovat jejich množství a nebezpečné vlastnosti. Odpady, jejichž vzniku nelze zabránit, musí být využity, případně odstraněny způsobem, který neohrožuje lidské zdraví a životní prostředí a který je v souladu s tímto zákonem a se zvláštními právními předpisy. Na obrázku č. 6 je zobrazena ústřední čistírna odpadních vod a složiště popelovin.



Obrázek 6 - snímek ÚČOV (v levém horním rohu, nové dory jsou umístěny vlevo do trojúhelníku, staré dory jsou umístěny vpravo vertikálně) a sedimentační nádrže pro ukládání popílku[29]

Ústřední čistírna odpadních vod měla šest usazovacích nádrží tři tzv. staré usazovací nádrže, které jsou v provozu od roku 1962 a tři nové usazovací nádrže, které jsou v provozu od roku 11/1963. Staré nádrže sloužily k usazování kalů z výrobně-technologických a komunálních vod Vítkovických železáren Klementa Gottwalda, nové usazovací nádrže sloužily (tzv. plynočistírenský okruh) k usazování kalů z odpadní vody vodní pračky vysokopevního plynu. Hlavní podíl prachu z vysokopevního plynu je zachycován v lapači prachu (prašník) a v cyklonech, kde dochází k hrubému čištění. K polojemnému čištění obvykle dochází ve skrubru, což je velká válcová nádoba, do níž je spodem přiváděn plyn proti jemně rozprášené vodě padající shora. Voda strhává částice

prachu do spodní části skrubru, odkud se odvádí v podobě kalu. Voda, která prošla tímto technologickým procesem se dočišťovala na nových usazovacích nádržích.

Pro odvodnění vzniklého kalu ze starých a nových usazovacích nádrží se do roku 1975 používal kalolis.

Od roku 1976 byly kaly splavovány vodou (hydro-dopravou) z nových nádrží tzv. plynočistírenského okruhu na odpopílkovací nádrže, které se nacházejí na pravém břehu řeky Ostravice, kde docházelo k sedimentaci společně se škvárou, popelem a popílkem z odlučovačů teplárny. Odsazený kal se po vysušení těžil a používal se pro rekultivaci krajiny. Jelikož odsedimentovaný popílek obsahoval kal z ÚČOV, nemohl se popílek využívat na zpracování ve stavebnictví. Po ukončení provozu vysokých pecí v roce 1997 se ukončil provoz starých dorrů – plynočistírenských usazovacích nádrží.

Od roku 1998 byly kaly z nových usazovacích nádrží splavovány vyčištěnou vodou z těchto dorrů na odpopílkovací nádrže až do roku 2005.

V roce 1990 byl zpracován projekt, který měl zajistit zachycení volných ropných produktů. Tohoto bylo dosaženo přebudováním předusazovací nádrže, kde se usazují písky a těžké nečistoty a dochází k vytváření vloček. Před koncem předusazovací nádrže je norná stěna, na které se zachycují ropné látky. Pokud pokryjí asi čtvrtinu plochy předusazovací nádrže, provádí se jejich odčerpání.

Do roku 2005 měla čistírna udělen souhlas k míšení nebezpečných odpadů navzájem nebo s ostatními odpady. V usazovacích nádržích bylo nad dnem shrabovací zařízení, kterým se kal shraboval směrem ke středovému sloupu, odtud se kalovým potrubím pomocí hydrostatického tlaku a stlačeného vzduchu dopravoval do kalové jímky. Tam se kal promíchal míchadlem a byl kalovým čerpadlem dopravován na složiště popelovin, kde se ukládal spolu s popílkem z teplárny. Tento, cyklus probíhal minimálně jednou denně. Tato, použitá technologie nebyla ani nejúčinnější a nejpokročilejší s ohledem na tehdejší technickou úroveň nakládání s odpadem – kalem z ÚČOV a nebylo možno ji dále využívat. Proto, byla v roce 2004 vypracována studie dehydratace kalů ÚČOV Energetika Vítkovice a.s., cílem které bylo navrhnout nový způsob nakládání s kalem produkovaným na ÚČOV, který bude v souladu s platnými zákony a bude splňovat požadavky a představy původce odpadu, zejména z ekonomického hlediska. Na základě této studie, byl navržen nový technologický postup kalového hospodářství.

Vzhledem k charakteru přitékajících odpadních vod z výrobně-technologických zařízení je výsledný kal produkovaný ÚČOV, charakterizován jako **kal z čištění průmyslových odpadních vod - nebezpečný odpad (katalogové číslo 190813)**. [30]

5.1 Popis zařízení dehydratační linky

Popis technologických zařízení dehydratační linky začíná usazovacími nádržemi č. 1, 2, 3, a končí vstupem do odstředivky.

5.1.1 Stahování kalu z usazovacích nádrží

V každé usazovací nádrži je nad dnem shrabovací zařízení, kterým se usazený kal shrabuje směrem ke středovému sloupu. Odtud se usazené kaly gravitačně a pomocí stlačeného vzduchu kalovým potrubím dopravují do kalových jímek N1, N12. Usazený kal, lze stahovat z každé usazovací nádrže zvlášť. Obsah každé jímky je 46 m³. V kalových jímkách se kal promíchává míchadlem a je kalovým čerpadlem dopravován na linku dehydratace kalu. [31]

5.1.2 Čerpání kalů, do zahušťovací nádrže N2

Z kalové jímky N1 je kal přečerpáván do zahušťovací nádrže N2. Po naplnění zahušťovací nádrže N2, vybavené míchadlem, do předem stanovené, nebo zvolené výšky hladiny (1,3m), je dávkovacím čerpadlem přidáváno vápenné mléko. Hodnota pH, je během dávkování měřena ponornou sondou, v nádrži je rovněž měřena výška hladiny ultrazvukovým snímačem. Hodnota pH se upravuje na hodnotu 8,5 – 10. V dalším kroku, se provede vypnutí míchadla a následná sedimentace kalu po dobu cca 8 hod, kdy obsluha pomocí 4 vzorkovníků na nádrži N2 provede vizuální zkoušku na určení rozhraní voda - kal a nad rozhraním otevře příslušný ruční ventil. Otevřením elektro klapky se vypustí odstátá voda do sběrače. Pokud je rozhraní kalu a vody pod úrovní nejnižšího ručního ventilu, vypustí se celý obsah nádrže do sběrače a zopakuje se celý proces napouštění nádrže N2 do té doby než bude nashromážděno v nádrži potřebné množství zahuštěného kalu pro přečerpání do N3. Odstředivka dokáže zpracovat kal s podílem sušiny v rozmezí 7 - 9 %. [31]

5.1.3 Kalová nádrž N3

Z kalové nádrže N2 je kal dopravován do nádrže N3 pomocí čerpadla. Nádrž je vybavena míchadlem a ultrazvukovou sondou, pro měření hladiny. Z kalové nádrže jsou v průběhu plnění odebírány vzorky kalu a je měřena jeho hustota. Optimální hodnota hustoty kalu je $1,04 \text{ kg/dm}^3$. Pokud je hustota kalu vyšší, musí být kal naředěn proplachovou vodou. Zvýšením hladiny čistou oplachovou vodou o 15 cm se sníží hustota kalu o $0,01 \text{ kg/dm}^3$. Pokud je kal v nádrži N3 řídký musí být dočerpán hustý kal z nádrže N2. Z důvodu regulace hustoty kalu se nedoporučuje plnit nádrž N3 na maximální výšku.[31]

5.1.4 Dávkování flokulantu a jeho vlastnosti

Dávkování flokulantu z nádrže N4 do odstředivky se provádí pomocí čerpadla, nádrž je vybavena snímačem hladiny, aby nedošlo k poškození čerpadla. Pro vločkování kalu se používá 0,5% roztok tj. do 1000 l nádrže se za stálého míchání dávkuje 5 l flokulantu. Flokulant (tekutý kationaktivní polyakrylamid – flokulační prostředek v emulzi), je vhodný pro čiření, zahušťování a odvodňování kalů a pomáhá sedimentaci vyvločkováného mraku, je to neprůhledná nazelenalá až mléčně bílá kapalina, s vysokou relativní molekulovou hmotností, která snadno ulpívá na předmětech, je kluzká a špatně se odstraňuje.

- Vzhled neprůhledná nazelenalá až mléčně bílá kapalina
- Hustota 1020 kg/m^3
- pH 3 – 6 po zředění vodou
- Bod tuhnutí -15°C

Výhodou tohoto flokulantu je malé dávkované množství, nenáročná příprava pro dávkování a malé množství vznikajících kalů. Používá se k čiření a k urychlení sedimentace při čistících procesech na čistírnách průmyslových odpadních vod.[31]

5.2 Kalová koncovka

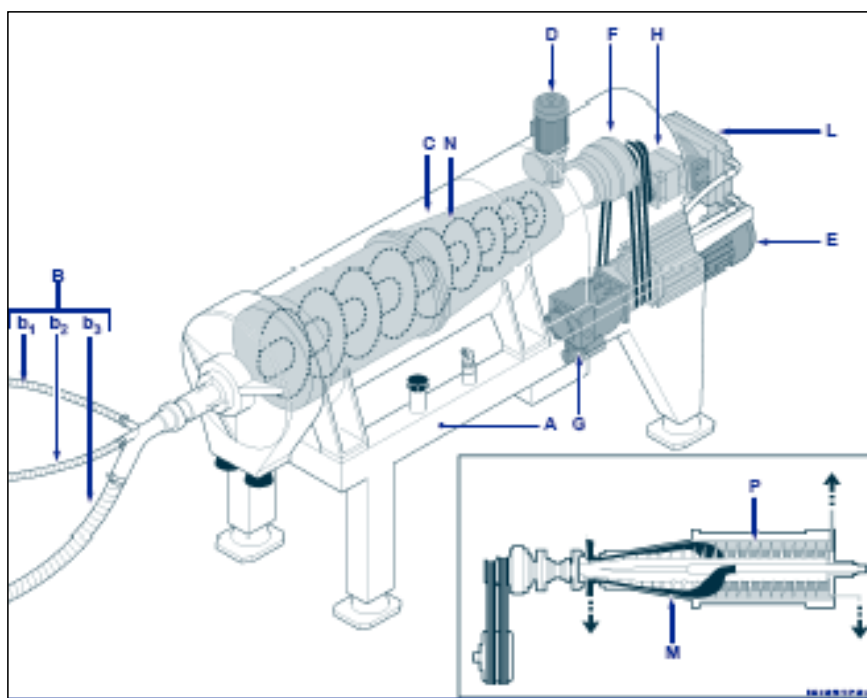
V roce 2004 byla vypracována Studie dehydratace kalu na ÚČOV, která posoudila a navrhla nový způsob nakládání s kalem. Byl navržen nový technologický postup nakládání s vzniklým kalem a nová kalová koncovka. Studie doporučila s tří možných

řešení (kalolis, pásový lis, odstředivka) odstředivku. Stabilizací kalu, do rypného stavu došlo ke snížení celkového objemu produkce kalů a zároveň přineslo úsporu nákladů při odstranění kalu externí firmou.[30]

5.2.1 Odstředivka

Odvodnění kalu, odstředivkou společnosti BARGAM B/DF300-300LH, je založeno na působení odstředivé síly na vyflokulovaný kal. Kal je čerpán ze zahušťovací nádrže N3 kalovým čerpadlem, za čerpadlem je zařazeno dávkování 0,5% roztoku flokulantu VTA LC 181. Kal s nadávkovaným flokulantem je přiváděn do bubnu a rozdělován mezi buben a šnek. Pohon odstředivky je zajištěn elektromotorem. Odvodněný kal je posunován šnekem do kuželovité části a dále do výsypní části odstředivky, odkud sediment vypadává skluzem s odstředivky do sběrné nádoby. Kapalná fáze postupuje opačným směrem k výstupnímu otvoru a je vypouštěná do nádrže průsakových vod a následně přečerpávána na vtok do usazovacích nádrží. Posun pevné fáze je zajištěn rozdílem otáček mezi bubnem a šnekem.[12]

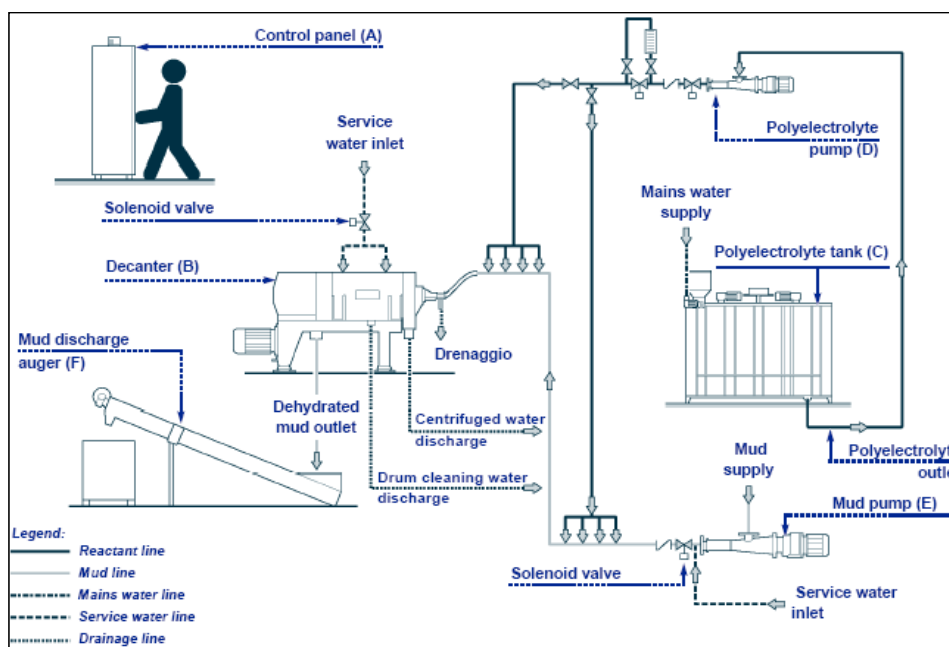
Schéma odstředivky



Obrázek 6 – schéma odstředivky

- A. rám odstředivky** – pro upevnění odstředivky a hydraulického systému
- B. přítok médií**
 - b1 technologická voda na promývání odstředivky
 - b2 roztok flokulantu – polymeru
 - b3 kal na odvodnění
- C. buben** – rotuje při vysokých otáčkách a působením odstředivé síly způsobuje oddělení pevné části, která je dopravována šnekem do vyprazdňovací zóny pevné fáze (N) a tekuté fáze (P)
- D. motor pro pohon stíracích nožů** usnadňující výstup pevné fáze
- E. pohon odstředivky**
- F. převodovka**
- G. hydraulické čerpadlo** – je poháněno elektromotorem E, čerpá hydraulický olej ze zásobní nádrže a pohání hydraulický motor
- H. chladič** - zajišťuje chlazení hydraulického systému[30]

Schéma zapojení odstředivky



Obrázek 7 – schéma zapojení odstředivky

- | | |
|---|---|
| A. kontrolní panel | D. dávkovací čerpadlo roztoku flokulantu |
| B. odstředivka | E. kalové čerpadlo |
| C. chemické hospodářství pro přípravu flokulantu | F. vynášecí dopravník[30] |

5.2.2 Kanalizace

Oplachová a proplachová voda, která se používá pro proplach technologických celků kalové linky, fugát z odstředivky a ostatní odpadní voda vznikající v prostoru kalové linky je zaústěná do kanalizace kalové linky, která je přes revizní šachty zaústěná do kanalizačního sběrače B, kterým je přiváděna na nátok na ÚČOV.[31]

5.2.3 Zásobník na odvodněný kal

Pod odstředivkou je na pojízdné plošině umístěna bikramová nádoba, která slouží jako sběrná nádoba na odstředěný kal. Suchý odstředěný kal padá výsypkou pod odstředivkou a je obsluhou rovnoměrně rozhrabován a po naplnění nádoby je odvážen renomovanou firmou k likvidaci.[31]

5.3 Přehled odpadů, které vznikají v rámci čištění průmyslových odpadních vod na ÚČOV ČEZ ES:

- **Shrabky** – zachycují se na hrubých a jemných česlích na přítoku do ČOV. Stírají se ručně a shromažďují se do kontejneru.
- **Ropné látky** – před koncem předusazovací nádrže je norná stěna, na které se usazují ropné látky, shromažďují se v pro ně určených nádobách.
- **Primární kal** – vzniká v předusazovací nádrži, kde se usazují písky a těžké nečistoty.
- **Odvodněný kal z odstředivky** – vzniká mechanicko - chemickým čištěním odpadní vody a upravuje se dehydratací.

5.3.1 Teoretické vstupní a výstupní parametry kalu

Vstupní parametry pro odvodnění kalu:

1. Druh odpadních vod: odpadní voda z hutních a strojírenských provozů a.s. Vítkovice a připojených externích organizací
2. Typ kalu: sedimentované kaly z usazovacích nádrží:
objem sušiny: 10 až 20 g/l
obsah organických látek: < 28 %

Výstupní parametry odvodněného kalu:

1. Množství zpracovaných odpadních vod $\geq 50 \text{ m}^3/\text{den}$
2. Výstupní sušina odvodněného kalu $\geq 50 \%$

5.3.2. Složení produkovaného kalu

Stanovení sušiny v kalu z ÚČOV ČEZ Energetické služby, s.r.o. ze vzorků odebraných ze dne 28. 03. – 04. 04. 2014, jsem uvedl v níže uvedené tabulce č. 7.

Tabulka č. 7: Stanovení sušiny v kalu z roku 2014

Vzorek	koncentrace sušiny %	nejistota %
1.	49	5
2.	52	5
3.	50	5
4.	48	5

V tabulce č. 8 jsou zobrazeny hodnoty vybraných rizikových prvků v produkovaných kalech.

*Tabulka č. 8: Rozbor produkovaných kalů 190813 za rok 2013
- hodnoty vybraných rizikových prvků*

Látka	mg . kg ⁻¹	kg/rok
As – arzén	67,6	11,56
Cd – kadmium	13,9	2,38
Cr – chrom	492	84,11
Cu – měď	825	141,04
Hg – rtuť	50,2	8,58
Ni – nikl	160	27,35
Pb – olovo	2210	377,8
Zn - zinek	4330	740,22

Pro srovnání těchto hodnot rizikových prvků v produkovaných kalech uvádím limity vybraných rizikových prvků v půdě (ukazatel hodnocení půd) a mezní (maximální) koncentraci těchto prvků (ukazatel pro hodnocení kalu) v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě. Mezní hodnoty koncentrací vybraných prvků v půdě vymezují maximální hodnoty těchto prvků, při jejichž překročení by mohlo dojít k poškozování funkcí půdy a složek životního prostředí. V níže uvedené tabulce č. 9 jsou uvedeny limitní hodnoty vybraných prvků. Ze srovnání hodnot v tab. č. 8 a č. 9 vyplývá nemožnost využívání kalů produkovaných ÚČOV na zemědělské půdě.[26]

Tabulka č. 9: Mezní hodnoty vybraných rizikových prvků

Prvek	Mezní hodnoty koncentrací prvků v půdě (mg.kg ⁻¹ sušiny v půdě)		Mezní hodnoty koncentrací prvků v kalech (mg.kg ⁻¹ sušiny)
	Běžné půdy	Písky, hlinité písky, štěrkopísky	Čistírenské kaly
As - arzén	20	15	30
Cd – kadmium	0,5	0,4	5
Cr – chrom	90	55	200
Cu – měď	60	45	500
Hg – rtuť	0,3	0,3	4
Ni – nikl	50	45	100
Pb – olovo	60	55	200
Zn - zinek	120	105	2500

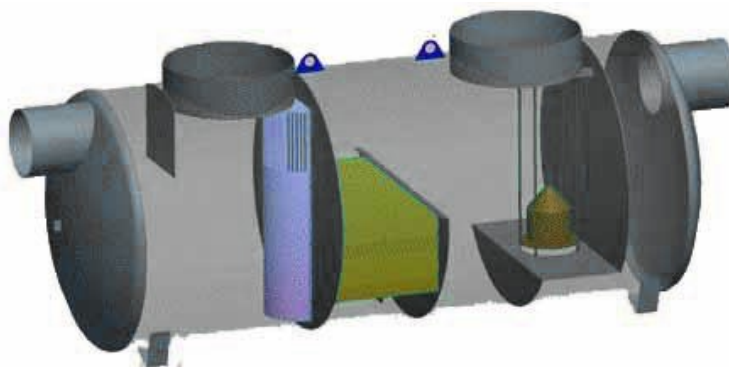
5.4 Vyhodnocení a návrh opatření

Instalací nové koncovky kalového hospodářství a stabilizací kalu do rypného stavu došlo ke snížení celkového objemu produkce kalu, kal již není přečerpáván na složiště popelovin a nedochází k jeho mísení s popílkem. Nový způsob hospodaření zároveň přinesl úsporu nákladů při odstranění kalu.

Změnou technologie kalového hospodaření, nedošlo ke změně zařazení vzniklých kalů mezi ostatní, ale dále jsou hodnoceny jako nebezpečné katalogové číslo 190813. A to hlavně z důvodů proměnlivého zatížení těžkými kovy, které se blíží limitním hodnotám pro jednodruhové skládky a znečištění kalů NEL, jehož hodnoty překračují limitní koncentraci pro možnost uložení odpadu na skládky všech skupin. Z tohoto důvodu, je možno produkováný kal likvidovat pouze na spalovnách nebo před jeho uložením na skládku upravit biodegradací, případně využít procesu úpravy solidifikací.

Pro snížení obsahu ropných látek v kalech, a tím k postupnému snižování obsahu nebezpečných látek, bych navrhoval možnost zařadit vhodnou úpravu k snížení tohoto zatížení na Ústřední čistírnu odpadních vod. Navrhoval bych snížit množství ropných látek už v odpadních vodách, kdy jsou ropné produkty ještě volné a ne až v době kdy jsou navázané na kal v důsledku použitých koagulačních a flokulačních prostředků. Přínosem úpravy, by bylo značné omezení rizika z následků možné ropné havárie. Vzhledem k problematickému snížení úniku ropných látek do odpadních vod u jednotlivých producentů, bych navrhoval zaměřit se na intenzifikaci jednotlivých procesů na ÚČOV.

Jako jedna z možných úprav je zařazení např. odlučovače ropných látek, který by byl zařazen za předusazovací nádrž. Odlučovač ropných látek pracuje na bázi gravitačního pohybu. Integrovaná kalová jímka umožňuje usazení a uskladnění kalu. Přepad vybavený mřížkou zachytává plovoucí materiál a odvádí upravovaný tok pod koalescenční lamelový filtr do odlučovacího oddělení, což zabezpečuje optimální separaci rozmíchaných ropných látek. Automatický plovákový uzávěr odtoku zabezpečuje automatické uzavření v případě dosažení maximální akumulární hladiny ropných látek a při havárii.



Obrázek 8 – Odlučovač ropných látek ZETEC Jumbo IACD3

Odlučovač ropných látek ZETEC Jumbo IACD3 obr.7, je vybaven kalovou jámkou, koalescenčním filtrem a obtokem, který dokáže v případě přívalových dešťů, t.j. dešťů přesahujících jmenovitou velikost, odvést 80 % maximálního průtoku nad odlučovací oddělení přímo do výtoku, čím zabraňuje opětovnému promíchání odloučených ropných látek a chrání odlučovač před jeho nepřiměřeným zatížením. Zařízení je konstruováno pro jmenovitou velikost 40 - 1000 l/s.[27]

Další možností je vybudování flotační nádrže. Flotační nádrž by byla instalována před předusazovací nádrží. Flotace rozpuštěným vzduchem je separační proces, používaný k oddělování tuhé fáze od kapalné. Principem separace suspenze flotací je agregace mikrobublinek vzduchu s vločkami vzniklé suspenze. Výsledný agregát má celkově menší specifickou hmotnost než voda a je proto vynášen k hladině. Na hladině se vytváří flotační pěna, která je mechanicky odstraňována. Jedno z možných řešení je rotační flotační zařízení SUPRAFLOT LC obrázek č.9, které se používá pro čištění odpadních a technologických vod s vysokým obsahem BSK₅, CHSK, tuků a nerozpuštěných látek. Toto flotační zařízení je využíváno jako první stupeň před pískovou filtrací na úpravnách vod a pro velmi jemnou úpravu technologických vod.



Obrázek 9 – Flotační rotační zařízení SUPRAFLOT LC

Používá se též na zahušťování kalů. Flotátor je vybaven komplexním integrovaným řídicím systémem, který umožňuje automatický náběh i odstavení z provozu a automatický bezobslužný provoz.[28]

Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo popsat způsob odvodnění produkováných kalů na ústřední čistírně odpadních vod ČEZ ENERGETICKÉ SLUŽBY. Za pomoci získaných a poskytnutých písemných a ústních informací, jsem popsal historii a současnost odvodnění kalů, na výše uvedené čistírně průmyslových vod.

V úvodu mé práce jsem popsal možný vznik a charakter průmyslových odpadních vod, jejich možnosti filtrace. V další části jsem se zaměřil na čistírenský kal, možné způsoby jeho odvodnění a následné nakládáním s ním v souladu s platnou legislativou.

Mezi zásadní problémy odvodnění a likvidace kalů v minulosti, byl značný objem produkováných nebezpečných kalů a jejich mísení s ostatním odpadem, čímž vzniklo nebezpečí, že popílky se stanou vlivem smíšení s kaly nebezpečným odpadem. Se změnou legislativy a před ukončením platnosti povolení k mísení odpadů, došlo k navržení technologie nové, odpovídající současným moderním trendům a platným normám a směrnicím EU.

Instalací nové koncovky kalového hospodářství a stabilizací kalu do rypného stavu došlo ke snížení celkového objemu produkce kalu, což zároveň přineslo úsporu nákladů při odstranění kalu.

Změnou technologie kalového hospodaření, nedošlo ke změně zařazení vzniklých kalů mezi ostatní, ale dále jsou hodnoceny jako nebezpečné. A to hlavně z důvodů proměnlivého zatížení těžkými kovy, které se blíží limitním hodnotám pro jednodruhové skládky a znečištění kalů NEL, jehož hodnoty překračují limitní koncentraci pro možnost uložení odpadu na skládky všech skupin. Z tohoto důvodu, je možno produkováný kal likvidovat pouze na spalovnách nebo před jeho uložením na skládku upravit biodegradací, případně využít procesu úpravy solidifikací.

Pro snížení obsahu ropných látek v kalech a tím k postupnému snižování obsahu nebezpečných látek, bych navrhoval možnost zařadit vhodnou úpravu k snížení tohoto zatížení na Ústřední čistírně odpadních vod. Přínosem úpravy, by bylo značné omezení rizika z následků možné ropné havárie. Jako jedna z možných úprav je zařazení např. odlučovače ropných látek, flotační nádrže, případně lapák tuků, který by byl zařazen za předusazovací nádrž.

Problematika likvidace odpadů a zejména kalů je téma nanejvýš aktuální a domnívám se, že se její význam bude nadále stupňovat, zejména s postupem poznání rizikových, cizorodých látek v kalech, ale i se zaměřením na hledání nových zdrojových surovin.

V případě mého dalšího studia bych se rád v budoucnu zaměřil v mé diplomové práci na otázky, zda je v provozu uplatňována adekvátní dávka flokulantu v g/kg sušiny, zda výstupní parametry odvodněného kalu odpovídají parametrům odvodnění garantovaným dodavatelem odstředivky (zejména s ohledem na % organiky v kalu). Jaká je účinnost odstředivky v návaznosti na kvalitu fugátu a možnost dosažení ještě vyšší výstupní sušiny. Dále provést laboratorní testy na výběr optimálního flokulantu, a testy pro různé varianty nastavení (zatížení, diferenční otáčky).

Seznam použité literatury

- [1] DOHÁNYOS, Michal: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online]. 2006-05-09 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.
- [2] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_zakon-2001-254-viceoblasti.html.
- [3] BINDZAR, J. a kol.: Základy úpravy a čištění vod: VŠCHT Praha 2009, 49 s. ISBN 978-80-7080-729-3.
- [4] Multimediální učební texty zaměřené na problematiku úpravy a čištění vody, Úprava a čištění vody analýza. [online]. 2010 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/ov.html.
- [5] Finlayson, M.; von Oertzen, I.; Chick, A.J.: Treating poultry abattoir and diggery effluents in gravel trenches. In: Cooper, P.F., Findlater, B.C. (Eds.), *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, Pergamon Press, Oxford, UK (1990), pp. 559-562.
- [6] Thut, R.N.: Feasibility of treating pulp mill effluent with a constructed wetland. In: Moshiri, G.A. (Ed.), *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida (1993), pp. 441-447.
- [7] Pitter Pavel, *Hydrochemie*, 4. Aktualizované vydání Praha: Vysoká škola chemicko – technologická v Praze, 2009, 592 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [8] KUTIL, Josef, DOHÁNYOS, Michal: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online]. 2005-01-05 [cit. 2014-02-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>>. ISSN: 1801-2655.-1.
- [9] Gerba, C.P. (2000): *Domestic Wastes and Waste Treatment*. In: Maier, R.M., Pepper, I.L., and Gerba, C.P. (Eds.): *Environmental microbiology*. Academic Press, San Diego. ISBN 0-12-497570-4. pp. 505-534.002.
- [10] CARBONELL, G. et al. Sewage sludge applied to agricultural soil: Ecotoxicological effects on representative soil organisms. *ScienceDirect.com* [online]. 2009 [cit. 2013-01-28]. ISSN 13364-0321. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651309000244>.
- [11] Prof. RNDr. Josef Malý CSc, Ing. Jitka Malá: *Chemie a technologie vody*, Vydání první: Vydavatelství NOEL 2000 s.r.o., 1996, 200s. ISBN 80-86020-13-4.

Internetové zdroje

- [12] <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/info.html>.
- [13] <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/legislativa.html>.
- [14] <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/postupy.html#odvodnovani>.
- [15] <http://czechindustrialfabrics.cz/komorove-kalolisy/> [cit. 2014-03-02].
- [16] <http://czechindustrialfabrics.cz/sitopasove-lisy/> [cit. 2014-03-02].
- [17] <http://www.centrivit.cz/cz/dekantacni-odstredivky/> [cit. 2014-03-02].
- [18] http://www.mzp.cz/cz/kaly_cistiren_odpadnich_vod [citace 2014-03-28].
- [19] <http://www.tretiruka.cz/news/otevreni-cesty-energetickemu-vyuziti-cistirenskych-kalu-je-nuntosti> [citace 2014-04-05].
- [20] http://www.mzp.cz/cz/kaly_cistiren_odpadnich_vod [citace 2014-03-28].
- [21] [http://www.eurofert.cz/news/tepelne-zpracovani-cistirenskych-kalu-/tepelné zpracování čistírenských kalů](http://www.eurofert.cz/news/tepelne-zpracovani-cistirenskych-kalu-/tepelné_zpracování_čistírenských_kalů) [citace 2014-04-05].
- [22] <http://www.czso.cz/csu/2011edicniplan.nsf/tab/1A002D0CF5>.
- [23] [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/\\$FILE/OODP-Sesta_hodnotici_zprava_POH_CR_2010-120212.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/$FILE/OODP-Sesta_hodnotici_zprava_POH_CR_2010-120212.pdf) [citace 2014-04-06].
- [24] [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/\\$FILE/OODP-Sesta_hodnotici_zprava_POH_CR_2010-120212.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/$FILE/OODP-Sesta_hodnotici_zprava_POH_CR_2010-120212.pdf) [citace 2014-04-06].
- [25] <http://www.odpadoveforum.cz/upload/pageFiles/3-2011-pdf.pdf> odpadové fórum3/2011, str.22-23,ing.Vološinová D. [citace 2014-04-06].
- [26] <http://bioodpady.ecomanag.cz/clanek/vyhlaska-c-3822001-sb-o-podminkach-pouziti-upraven/>.
- [27] <http://www.zetr.cz/produkty/voda/odlucovace-ropnych-latek/zetec-jumbo.html>.
- [28] <http://www.inkos.cz/vyrobní-program/chci-hledat-podle-zarizeni/flotacni-zarizeni-rotacni>.
- [29] <http://www.google.com/earth/>

Interní zdroje

- [30] Štverák, A. a kol. Studie dehydratace kalů ÚČOV Energetika Vítkovice, a.s. Ostrava 2004. 28 s.
- [31] Provozně manipulační řád vodního díla Ústřední čistírna odpadních vod ČEZ Energetické služby s.r.o. 2009.

Seznam obrázků, tabulek, grafů

Obrázek č. 1 Vakuový bubnový filtr

Obrázek č. 2 Kalolis

Obrázek č. 3 Sítopásový lis HUBER

Obrázek č. 4 Odstředivka

Obrázek č. 5 Snímek ústřední čistírny odpadních vod

Obrázek č. 6 Snímek ústřední čistírny odpadních vod a sedimentačních nádrží

Obrázek č. 7 Schéma zapojení odstředivky

Obrázek č. 8 Odlučovač ropných látek ZETEC Jumbo IACD3

Obrázek č. 9 Flotační rotační zařízení SUPRAFLOT LC

Tabulka č. 1 Složebí kalu

Tabulka č. 2 Množství sušiny

Tabulka č. 3 Produkce kalů z ČOV od roku 2003- 2010

Tabulka č. 4 Produkce nebezpečných kalů katalogového čísla 190813

Tabulka č. 5 Využití kalů na zemědělské půdě

Tabulka č. 6 Povolené limity znečištění vyčištěných odpadních vod

Tabulka č. 7 Stanovení sušina v kalu z roku 2014

Tabulka č. 8 Rozbor produkováných kalů 190813 za rok 2013 - hodnoty vybraných rizikových prvků

Tabulka č. 9 Mezní hodnoty stanovených prvků

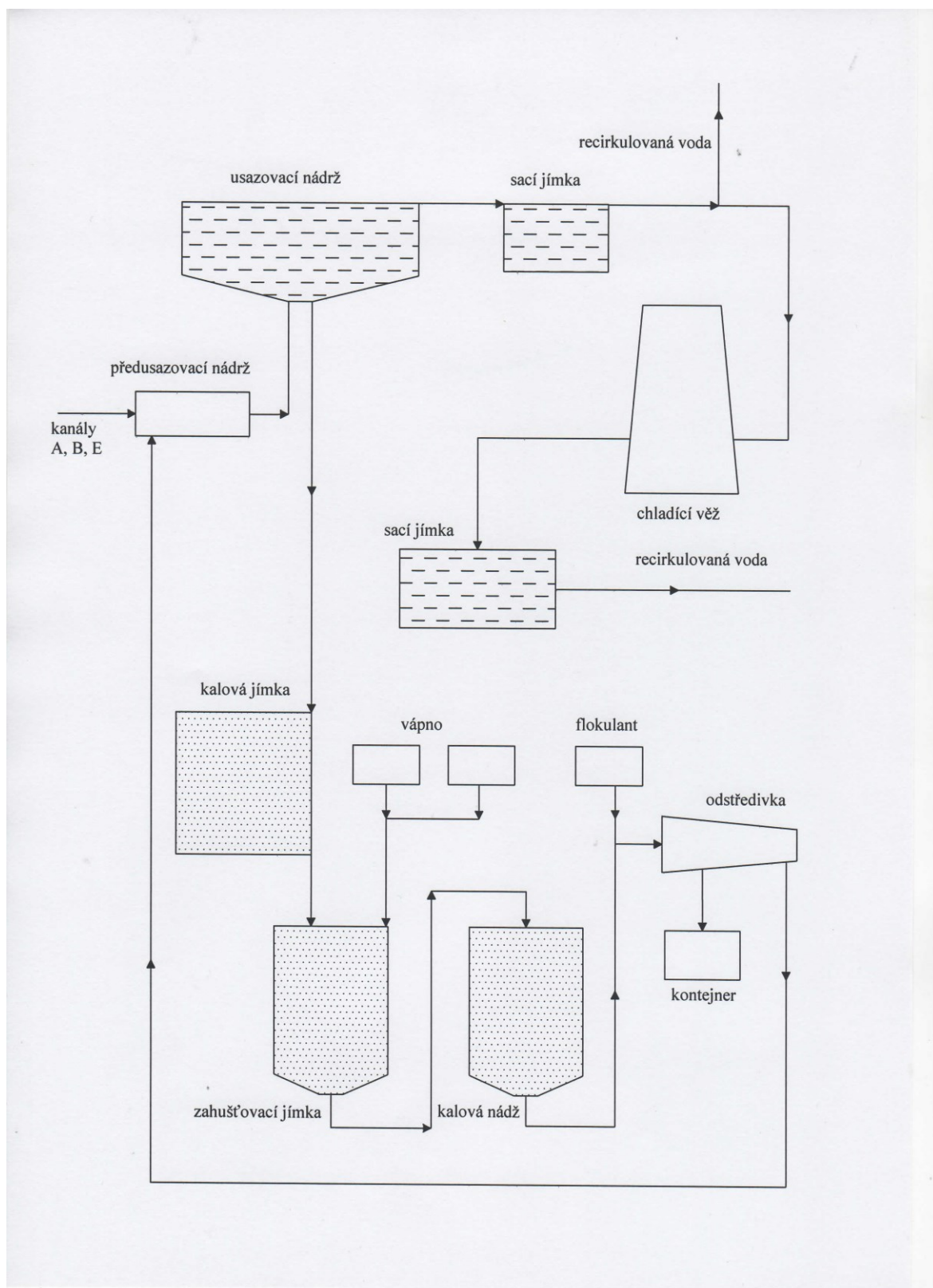
Graf č. 1 Produkce odpadů v České republice v roce 2010

Přílohy

Příloha č. 1 Technologické schéma Ústřední čistírny odpadních vod

Příloha č. 2 Schéma kanalizace Ústřední čistírny odpadních vod

Příloha č. 1: Technologické schéma ÚČOV ČEZ ES a.s.



Příloha č. 2: schéma kanalizace ÚČOV

